

Comportamento químico e ambiental de resíduos sólidos em pavimentos de estradas florestais

Chemical and environmental behavior of the solid wastes in forest roads pavements

¹Carlos Cardoso Machado; ²José Maurício Machado Pires; ³Reginaldo Sérgio Pereira; ¹Maurício Paulo Ferreira Fontes; ¹Dario Cardoso de Lima

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento químico e ambiental de solos e de misturas solo-resíduo industrial. Para tanto, dois solos característicos da microrregião de Viçosa, Minas Gerais, em suas formas naturais e em misturas com os resíduos da indústria de celulose, lama de cal e grits, foram estudados. Os conteúdos de lama de cal e grits empregados nas misturas foram de 16, 18, 20, 22 e 24 %, em peso seco de solo. Realizaram-se análises químicas de elementos traços, ensaios de lixiviação e solubilização, ensaios de colunas de lixiviação, capacidade de troca catiônica e carbono orgânico. Os resultados indicaram uma baixa contaminação dos solos e de suas misturas com os resíduos lama de cal e grits, o que foi evidenciado pelos teores de cádmio, cromo e chumbo que se enquadram dentro dos limites estabelecidos pela ABNT (1986).

Palavras-chave: Estradas florestais, Resíduos industriais, Análises químicas

Abstract

The objective of the present study was to evaluate chemical and environmental behavior of soils and soil-industrial waste mixtures. Two soils from county Viçosa, Minas Gerais State, Brazil, in natural form and mixtures with industrial waste cellulose, whitewash mud and grits, were studied. The whitewash mud and grits contents 16, 18, 20, 22 and 24 % dry weight soil. Realization chemical analysis for trace elements, lixiviation assays, solubilization assays, lixiviation columns assays, cation exchange capacity (CEC) and organic carbon. The results indicated a low soil and soil mixtures contamination.

Keywords: Forest road, Industrial waste, Chemical analysis

INTRODUÇÃO

A preocupação com a poluição aumentou no início do século passado e em 1903 nos Estados Unidos institucionalizou-se a APCA (Air Pollution Control Association) que inicialmente obrigou os grandes poluidores a instalar separadores inerciais e gravitacionais com eficiência de 50 %, conseguindo-se alguma melhoria na qualidade do ar e gerando resíduos sólidos como produto final de tratamento. Hoje, um dos grandes responsáveis pela poluição são os despejos industriais. Estes despejos são originários de resfriamentos, lavagens, descargas, extrações, impregnações, tratamentos químicos entre outros (PIRES *et al.*, 2003).

A reciclagem de vários tipos de resíduos industriais como geomateriais através da técnica de estabilização química de solos e a utilização como novos materiais de construção para uso na pavimentação de rodovias é uma alternativa de grande potencial, sendo fruto de inúmeras pesquisas em vários centros de pesquisas no Brasil. Na UFV (Universidade Federal de Viçosa) inúmeras pesquisas foram desenvolvidas nesse sentido, podendo-se citar: (i) pesquisas desenvolvidas com o vinhoto, gerado na indústria açucareira e estudado por Ferraz (1994); (ii) licor negro kraft, produzido na indústria de celulose e analisado por Vieira (1994); (iii) alcatrão de madeira de eucalipto, gerado no processo de carbonização da madeira e pesquisado por

¹Professor Titular do Departamento de Engenharia Florestal da UFV – Universidade Federal de Viçosa - Campus Universitário – Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: machado@ufv.br; E-mail: mpffontes@ufv.br; E-mail: declima@ufv.br

²Doutorando do Departamento de Engenharia Florestal da UFV – Universidade Federal de Viçosa - Campus Universitário – Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: jmauriciopires@uol.com.br

³Doutor em Ciências Florestais pela Universidade Federal de Viçosa. E-mail: reginaldosp1@yahoo.com.br

Fernandes (2000); (iv) escórias de aciaria e de alto-forno, subprodutos da produção do aço e estudadas, respectivamente, por Baltazar (2001) e Sant'Ana (2003) e (v) lama de cal e grits, resíduos da indústria de celulose e pesquisados por Pereira (2005), que estudou a viabilidade técnica da aplicação desses resíduos em solos de estradas florestais para fins de estabilização química.

Na indústria de celulose, numa das etapas da extração de celulose de madeira ocorre a recuperação da soda cáustica, gerando resíduos sólidos denominados grits e lama de cal (ASSUMPÇÃO *et al.*, 1988). Estes resíduos são acondicionados em aterros industriais próximos às fábricas. Entretanto, a disposição indiscriminada desses resíduos no solo pode causar a poluição do ar pela exalação de odores, fumaça, gases tóxicos ou material particulado; poluição das águas superficiais pelo escoamento de líquidos percolados ou carregamento de resíduos pela ação das águas de chuva e poluição do solo e das águas subterrâneas pela infiltração de líquidos percolados.

O possível impacto ambiental da utilização geotécnica dos resíduos da indústria de celulose necessita ser investigado, uma vez que vultosas quantidades desses resíduos podem ser utilizadas em obras de terra. Resíduos contaminados por substâncias tóxicas (e.g. metais pesados) requerem tratamento prévio ao uso, com o intuito de prevenir impactos ambientais passíveis de ocorrência.

Assim sendo, constitui-se em objetivo do presente artigo avaliar o comportamento químico e ambiental de solos e das misturas solo-resíduo. Os resíduos grits e lama de cal são originários da indústria de celulose.

MATERIAIS E MÉTODOS

Solos e resíduos industriais

Dois solos da microrregião de Viçosa, MG foram empregados no presente estudo. Uma das amostras designada por ETA foi coletada no Horizonte B de um talude de corte próximo à estação de tratamento de água de Viçosa, MG: trata-se de um Latossolo Vermelho Amarelo, laterítico, de textura argilo-areno-siltosa. A outra amostra, designada por VS, foi coletada no Horizonte C de um talude de corte situado na localidade conhecida por vila secundino no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV): trata-se de um solo de comportamento não-laterítico e textura areno-argilo-siltosa.

Os resíduos industriais empregados foram: (i) resíduo sólido grits e (ii) resíduo sólido lama de cal. Os resíduos grits e lama de cal são provenientes do processo kraft de extração de celulose durante a recuperação da soda cáustica. Segundo Assumpção *et al.* (1988), o grits se origina no slaker ou apagador de cal, onde ocorre a hidratação da cal proveniente da recuperação da lama de cal ou de silos de CaO novos para repor possíveis perdas no processo, sendo constituído por areia, pedregulho, calcário e outras impurezas que não reagiram, podendo possuir, também, quantidades de CaO, Ca (OH)₂ e Na₂CO₃. A lama de cal é o resíduo proveniente da clarificação do licor branco, sendo constituída por CaCO₃ e alguma quantidade de NaOH.

Misturas realizadas

Os ensaios foram realizados com as amostras de solo, resíduos industriais e com as misturas solo-resíduo. Os teores de resíduos empregados nas misturas foram de 16, 18, 20, 22 e 24 % calculados sobre a massa seca de solo. Esses teores basearam-se nos resultados de resistência mecânica obtidos por Pereira (2005) em estudos de misturas solo-grits e solo-lama de cal para aplicação em estradas florestais.

Ensaio realizado

Os seguintes ensaios com suas respectivas normatizações técnicas foram realizados com as amostras de solo e com as misturas solo-resíduo.

a) Determinação de elementos traços - Baseou-se na necessidade da verificação de suas presenças, conforme exigência da Norma 10.004 da ABNT (1986). Assim sendo, procedeu-se às seguintes determinações: Cd, Cr, Pb, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica, modalidade plasma.

b) Determinação de sílica (SiO₂) - A determinação de sílica foi feita segundo as recomendações do manual da EMBRAPA (1997, p. 127-129).

c) Classificação quanto ao grau de poluição - Foi realizada segundo as Normas 10.005 e 10.006 da ABNT (1987), que se referem, respectivamente, aos testes de lixiviação e solubilização.

d) Capacidade de troca catiônica (CTC) - A determinação da CTC foi feita segundo as recomendações da EMBRAPA (1997, p. 93-102).

e) Determinação do teor de carbono orgânico (C.O.) - Foi feita segundo as recomendações da EMBRAPA (1997, p. 85-87). A porcentagem de matéria orgânica pode ser calculada, multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724.

Este fator é usado quando se admite que na composição média do húmus o carbono participa com 58 %.

f) Ensaio de colunas de lixiviação - Para análise da lixiviação de resíduos nos corpos-de-prova compactados foi realizado o ensaio de coluna de lixiviação proposto por Matos (1995). Esse ensaio consiste basicamente em colunas de lixiviação (tubos de PVC de 4,7 cm diâmetro interno, perfazendo colunas de solo de 10 cm de altura). As colunas foram acopladas ao sistema de alimentação com água destilada, composta por garrafas de Mariotte, sendo o fornecimento dessa água mantido até a obtenção do fluxo saturado em estado permanente, quando são obtidos os dados para o cálculo da condutividade hidráulica saturada dos solos. Coletou-se a água que passa pelo corpo-de-prova para posteriores análises químicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação dos elementos traços

Os resultados das determinações dos elementos traços dos solos, das misturas solo-lama de cal e solo-grits encontram-se na Tabela 1. Observou-se a presença de cobre, ferro, zinco e manganês nas amostras do solo ETA e VS. Nas amostras de solo ETA notou-se uma maior concentração de ferro e manganês. Observou-se, também, que a concentração dos elementos ferro e manganês diminuíram para a maioria dos tratamentos, com o aumento da concentração dos resíduos lama de cal e grits. Os teores de Fe e Mn estão dentro dos intervalos permissíveis para os solos naturais. Solos mais argilosos, como o solo ETA apresentam teores de Mn, o que é possível se a região apresentar nos seus solos minerais contendo Mn ou por algum tipo de contaminação. Geralmente solos com altos teores de Fe tendem a apresentar teores baixos de Mn. Pires *et al.* (2003) e Machado *et al.* (2004a) encontraram resultados semelhantes em suas pesquisas.

Para ambas as situações observaram-se que alguns elementos estavam abaixo do limite de detecção (ND). Este limite é a menor quantidade de um elemento detectável em solução. Este valor de concentração corresponde a três vezes o desvio padrão obtido por meio de 10 soluções em "branco" (são os reagentes com os quais se torna solúvel o componente a ser dosado). Uma concentração de 5 a 10 vezes do limite de detecção fornece uma boa aproximação da faixa ótima de trabalho.

Tabela 1. Teores dos elementos traços ($\mu\text{g/g}$) dos solos e das misturas solo-resíduo. (Amount of trace elements ($\mu\text{g/g}$) in the soils and mixtures of soil-waste)

Amostras	Cd	Cr	Pb	Fe	Mn
<i>ETA natural</i>	ND	ND	ND	8800	775
ETA com 16 % lama de cal	ND	ND	ND	8800	770
ETA com 18 % lama de cal	ND	ND	ND	8800	780
ETA com 20 % lama de cal	ND	ND	ND	8800	760
ETA com 22 % lama de cal	ND	ND	ND	8800	775
ETA com 24 % lama de cal	ND	ND	ND	8800	780
ETA com 16 % grits	ND	ND	ND	9200	765
ETA com 18 % grits	ND	ND	ND	9000	770
ETA com 20 % grits	ND	ND	ND	9100	780
ETA com 22 % grits	ND	ND	ND	9250	790
ETA com 24 % grits	ND	ND	ND	9300	800
<i>VS natural</i>	ND	ND	ND	825	ND
VS com 16 % lama de cal	ND	ND	ND	825	ND
VS com 18 % lama de cal	ND	ND	ND	825	ND
VS com 20 % lama de cal	ND	ND	ND	825	ND
VS com 22 % lama de cal	ND	ND	ND	825	ND
VS com 24 % lama de cal	ND	ND	ND	825	ND
VS com 16 % grits	ND	ND	ND	850	ND
VS com 18 % grits	ND	ND	ND	860	ND
VS com 20 % grits	ND	ND	ND	880	ND
VS com 22 % grits	ND	ND	ND	890	ND
VS com 24 % grits	ND	ND	ND	895	ND

ND = Não detectável (abaixo do limite de detecção do equipamento)

ETA = Solo ETA (solo argiloso)

VS = Solo VS (solo arenoso).

Classificação quanto ao grau de poluição

Na Tabela 2 encontram-se os principais resultados provenientes dos ensaios de lixiviação com as amostras de solo e com as misturas solo-resíduo. Esses ensaios foram descritos por Pires *et al.* (2003), que obtiveram resultados semelhantes com teores de Cd, Cr e Pb abaixo dos limites de detecção do equipamento de absorção atômica. Isto ocorreu, tanto para os solos misturados a lama de cal quanto para os solos misturados ao grits, mostrando que estes solos e suas misturas devem estar livres de contaminação por metais pesados tóxicos pela presença de minerais de fase hidratada, que retêm metais, principalmente os metais pesados, em sua estrutura ou pela ausência de contaminação por estes elementos.

Na Tabela 3 encontram-se os principais resultados provenientes dos ensaios de solubilização com as amostras de solo e com as misturas solo-resíduo. Pires *et al.* (2003) obtiveram nesses ensaios valores semelhantes para os metais Cd, Cr, Pb, Fe e Mn, abaixo dos limites de detecção do equipamento de absorção atômica e dentro dos limites máximos permissíveis pela Norma da ABNT 10.004 (1986), conforme apresentado na Tabela 4, mas apresentou contaminação por Na.

Isto pode ser explicado pelo fato da composição dos resíduos sólidos industriais lama de cal e grits apresentar sais de sódio em sua composição química. Outra hipótese pouco provável que pode contribuir refere-se à quantidade de sódio na água utilizada como solvente nesses ensaios, embora as quantidades devam ser pequenas se comparadas à composição química desses resíduos.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de lixiviação dos solos e das misturas solo-resíduo. (Result of leaching tests on samples soils and soil-waste mixtures)

Amostras	Cd	Cr	Pb
	µg/mL		
<i>ETA natural</i>	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 16 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 18 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 20 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 22 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 24 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 16 % grits	<5,0	<5,0	<5,0
ETA com 18 % grits	<5,0	<5,0	<5,0
ETA com 20 % grits	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 22 % grits	<0,5	<5,0	<5,0
ETA com 24 % grits	<5,0	<5,0	<5,0
<i>VS natural</i>	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 16 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 18 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 20 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 22 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 24 % lama de cal	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 16 % grits	<5,0	<5,0	<5,0
VS com 18 % grits	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 20 % grits	<0,5	<5,0	<5,0
VS com 22 % grits	<5,0	<5,0	<5,0
VS com 24 % grits	<5,0	<5,0	<5,0

Tabela 3. Resultados dos ensaios de solubilização dos solos e das misturas solo-resíduo. (Result of solubility tests on samples soils and soil-waste mixtures)

Amostras	Cd	Cr	Pb	Fe	Mn	Na
	µg/mL					
<i>ETA natural</i>	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	1860
ETA com 16 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	4750
ETA com 18 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	4750
ETA com 20 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	4775
ETA com 22 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	6500
ETA com 24 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	4000
ETA com 16 % grits	<5,0	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1850
ETA com 18 % grits	<5,0	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1855
ETA com 20 % grits	<0,5	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1870
ETA com 22 % grits	<0,5	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1875
ETA com 24 % grits	<5,0	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1870
<i>VS natural</i>	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	1320
VS com 16 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	5500
VS com 18 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	6100
VS com 20 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	6100
VS com 22 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	6050
VS com 24 % lama de cal	<0,005	<0,05	<0,05	<0,3	<0,1	6100
VS com 16 % grits	<5,0	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1330
VS com 18 % grits	<0,5	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1335
VS com 20 % grits	<0,5	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1335
VS com 22 % grits	<5,0	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1340
VS com 24 % grits	<5,0	<5,0	<5,0	<0,3	<0,1	1340

Machado *et al.* (2004a) também observaram altos teores de Na no ensaio de solubilização para as misturas de solos com a lama de cal e o grits, teores acima dos máximos permitidos pela Norma da ABNT 10.004 (1986), conforme apresentado na Tabela 4. Quanto aos altos teores de Na nas amostras de solos naturais isto pode ser devido a uma possível contaminação da água deionizada por Na. Os deionizadores possuem resinas catiônicas de sais de sódio que poderiam ter sido retiradas por alguma alteração do meio (pH, condutividade elétrica ou mesmo sais dissolvidos). A simples inspeção e comparação dos valores obtidos nos ensaios de lixiviação e solubilização em relação aos valores tabelados pela Norma 10.004 da ABNT (1986), sugerem que os resíduos lama de cal e grits são materiais não inertes por causa da alta concentração de sódio encontrados nos ensaios.

Tabela 4. Limites máximos nos extratos dos ensaios de lixiviação e solubilização. (Maximum allowable values in the extract from the leaching and solubility tests)

Poluente	Limite Máximo (µg/mL)	
	Ensaio Lixiviação	Ensaio Solubilização
Cádmio	0,5	0,005
Chumbo	5,0	0,05
Cromo Total	5,0	0,05
Ferro	-	0,3
Manganês	-	0,1
Sódio	-	200

CTC, carbono orgânico e sílica

A Tabela 5 apresenta uma síntese dos resultados da capacidade de troca catiônica (CTC) média e dos teores de carbono orgânico (C.O.) e sílica (SiO_2) das amostras de solo e das misturas solo-resíduo. Com relação à CTC, sua importância reside no fato de verificar não só a capacidade de troca de cátions como também, a adsorção de cátions sobre a superfície dos minerais componentes dos solos. As amostras ETA e VS em suas formas naturais apresentaram baixos valores de CTC quando comparados às suas misturas com os resíduos, onde se notaram maiores valores desse parâmetro com o aumento dos teores de lama de cal e grits. Tais resíduos tendem a aumentar as CTCs devido à presença de cálcio em suas composições químicas. O solo VS não apresentou carbono orgânico bem como suas misturas com lama de cal e grits. No solo ETA foi comprovada a existência de carbono orgânico, onde os resultados indicaram que esse solo possui ácido húmico ou fúlvico, componentes que contêm carbono orgânico. Isto é importante porque esse solo tem possibilidade de reter cátions pesados ou não, e torná-los indisponível para o solo. Na Tabela 5 pode-se observar, também, que os teores de sílica apresentaram-se em valores entre 58,9 e 66,0 % para o solo ETA e suas misturas com lama de cal e grits. Já o solo VS sendo mais arenoso apresentou valores entre 81,5 e 94,0 %. As misturas VS-lama de cal apresentaram teores menores de SiO_2 que as misturas VS-grits. Explicação para esse fato é que o grits apresentou uma certa porcentagem de SiO_2 em sua composição química. Com relação ao solo ETA e suas misturas com lama de cal e grits, os teores de sílica ficaram abaixo dos teores apresentados para solo

VS e suas misturas porque o solo ETA possui predominância de fração argila.

Resultados das análises dos ensaios das colunas de lixiviação

Os teores de Cd, Cr e Pb ficaram abaixo dos limites de detecção do equipamento de absorção atômica tanto para os solos naturais quanto para suas misturas com lama de cal e grits; já os teores de Fe apresentaram-se na casa de 0,09 % e Mn na casa de 0,008 % (Tabela 6). Isto mostrou que os solos e suas misturas quando compactados dificultam a passagem de substâncias (metais) para a água usada como solvente.

Tabela 5. CTC, carbono orgânico e sílica das amostras de solo e misturas solo-resíduo. (CEC, Organic carbon and silica of soil samples and soil-waste mixtures)

Amostras	CTC	C.O.	SiO_2
	(Cmolc/kg)	(%)	(%)
<i>ETA natural</i>	2,4	1,5	58,9
ETA com 16 % lama de cal	3,6	1,5	59,0
ETA com 18 % lama de cal	4,2	1,5	60,0
ETA com 20 % lama de cal	4,3	1,5	61,0
ETA com 22 % lama de cal	4,5	1,5	62,0
ETA com 24 % lama de cal	9,3	1,5	63,0
ETA com 16 % grits	15,7	1,5	60,0
ETA com 18 % grits	16,4	1,5	63,0
ETA com 20 % grits	16,9	1,5	64,0
ETA com 22 % grits	17,8	1,5	65,0
ETA com 24 % grits	18,2	1,5	66,0
<i>VS natural</i>	3,5	ND	81,5
VS com 16 % lama de cal	9,5	ND	82,0
VS com 18 % lama de cal	9,7	ND	83,0
VS com 20 % lama de cal	9,8	ND	84,0
VS com 22 % lama de cal	10,0	ND	85,0
VS com 24 % lama de cal	10,2	ND	86,0
VS com 16 % grits	6,1	ND	84,0
VS com 18 % grits	7,7	ND	87,0
VS com 20 % grits	9,1	ND	90,0
VS com 22 % grits	9,8	ND	92,3
VS com 24 % grits	10,7	ND	94,0

Tabela 6. Teores de elementos traços obtidos nos ensaios de colunas de lixiviação. (Amount of trace elements from leaching columns tests)

Amostras	Cd	Cr	Pb	Fe	Mn
	$\mu\text{g/mL}$				
ETA natural	ND	ND	ND	880	77,5
ETA com 16 % lama de cal	ND	ND	ND	800	77,0
ETA com 18 % lama de cal	ND	ND	ND	880	78,0
ETA com 20 % lama de cal	ND	ND	ND	880	76,0
ETA com 22 % lama de cal	ND	ND	ND	880	77,5
ETA com 24 % lama de cal	ND	ND	ND	880	78,0
ETA com 16 % grits	ND	ND	ND	920	76,5
ETA com 18 % grits	ND	ND	ND	920	76,5
ETA com 20 % grits	ND	ND	ND	900	77,0
ETA com 22 % grits	ND	ND	ND	910	78,0
ETA com 24 % grits	ND	ND	ND	925	79,0
VS natural	ND	ND	ND	930	80,0
VS com 16 % lama de cal	ND	ND	ND	82,5	ND
VS com 18 % lama de cal	ND	ND	ND	82,5	ND
VS com 20 % lama de cal	ND	ND	ND	82,5	ND
VS com 22 % lama de cal	ND	ND	ND	82,5	ND
VS com 24 % lama de cal	ND	ND	ND	82,5	ND
VS com 16 % grits	ND	ND	ND	85,0	ND
VS com 18 % grits	ND	ND	ND	86,0	ND
VS com 20 % grits	ND	ND	ND	88,0	ND
VS com 22 % grits	ND	ND	ND	89,0	ND
VS com 24 % grits	ND	ND	ND	89,5	ND

CONCLUSÕES

- as misturas solo-lama de cal e solo-grits não são materiais perigosos do ponto de vista de poluição;
- os teores de cádmio, cromo e chumbo nas misturas solo-lama de cal e solo-grits estão abaixo dos limites recomendados pelas Normas da ABNT (1986);
- a lama de cal e o grits pertencem a Classe 2 da ABNT (1986), portanto materiais não inertes, devido aos teores de sódio obtidos nos ensaios de solubilização que estão acima dos limites recomendados pelas Normas da ABNT (1986);
- a adição da lama de cal e grits aos dois solos analisados propiciaram um aumento da adsorção de metais pesados sobre a superfície dos minerais que os compõem;
- baixos teores de carbono orgânico promoveram baixas complexações de cátions, possibilitando a sua disponibilidade para o solo;
- os teores dos metais obtidos dos ensaios em coluna de lixiviação estavam muito baixos não proporcionando danos à saúde de quem os manuseie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: classificação de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 1986. 63p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005: lixiviação de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 1987. 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006: solubilização de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 1987. 2p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007: amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 1987. 25p.

ASSUMPCÃO, R.M.V.; PINHO, M.R.R.; CAHEN, R.; PHILIPP, P. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2.ed. São Paulo: IPT, 1988. v.1, p.169-319.

BALTAZAR, R.P. **Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação**. 2001. 77p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212p.

FERNANDES, D.C.M. **Viabilidade do uso de alcatrão de madeira de eucalipto na estabilização de solos residuais para fins rodoviários**. 2000. 124p. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Viçosa, 2000.

FERRAZ, R.L. **Contribuição ao estudo da estabilização de solos para fins rodoviários e habitacionais**. 1994. 180p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

MACHADO, C.C.; PIRES, J.M.M.; FONTES, M.P.F.; PEREIRA, R.S.; PORTUGAL, C.R.M. Environmental behavior of soils and mixtures of soil: whitewash-mud. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.459-464, 2004 (a).

MATOS, A.T. **Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG**. 1995. 110p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição da Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

PEREIRA, R.S. **Viabilidade técnica do emprego de resíduos da indústria de celulose para construção de estradas florestais**. 2005. 329p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.

PIRES, J.M.M.; MACHADO, C.C.; PEREIRA, R.S.; DE LENA, J.C. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. **Revista árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p.393-397, 2003.

SANTANA, A.P. **Caracterização tecnológica de misturas solo-escória de alto forno moída para fins rodoviários**. 2003. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.

VIEIRA, S.V. **Estabilização de solos com licor negro kraft concentrado para fins rodoviários**. 1994. 126p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

Recebido em 10/03/2005

Aceito para publicação em 16/03/2006