

AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS EM ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE CAULIM¹

**Alessandro Costa da SILVA²
Eduardo de Sá MENDONÇA³
Renildes Lúcio Ferreira FONTES³
Maurício Paulo Lúcio FONTES³**

RESUMO: Este trabalho é uma contribuição na avaliação da contaminação de metais pesados (Fe, Zn e Cd) em área de deposição de rejeitos provenientes do processo de branqueamento do caulim. Amostras do material do aterro, solo testemunha e do próprio rejeito foram coletadas e analisadas quimicamente. Nas amostras foram analisadas as concentrações de metais totais (extração simples usando ácido), e metais fracionados (extração seqüencial usando diferentes reagentes) por meio de espectrofotometria de absorção atômica. A concentração dos metais Fe, Zn e Cd encontradas no rejeito nas diferentes formas geoquímicas revelou altos teores, indicando que o mesmo está poluído. Já a concentração de metais no material do aterro indicou contaminação por Fe, Zn e Cd nas frações analisadas em comparação com o solo controle e com teores citados na literatura. Os resultados indicam que estes metais podem ser solubilizados em função de mudanças nas condições ambientais e por ação do tempo, podendo ser disseminados para o lençol freático e áreas circunvizinhas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Metais Pesados, Contaminação, Caulim.

CONTAMINATION BY HEAVY METALS OF DEGRADED LAND BY KAOLIN MINING ACTIVITIES

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the contamination by heavy metals (Fe, Zn and Cd) of a residue disposal area from the cleaning process of kaolin. Landfill material, soil sample used as control and residue (waste) samples were collected and analyzed by atomic absorption spectrophotometer for total concentration of metals (single extraction using acid) and fractioned metals (sequential extraction using different reagents). The total concentration of Fe, Zn and Cd found in the landfill material was higher than in the control or the permissible concentrations by law, suggesting that these wastes were already polluted. The concentration of metals in the landfill material indicated contamination by Fe, Zn and Cd in the fractions analyzed. These results indicated that variable environmental conditions and action of time might solubilize those metals contaminating the underground water and adjacent areas.

INDEX TERMS: Heavy Metals, Contamination, Kaolin.

¹ Aprovado para publicação em 16.10.2002

² Químico Industrial, Dr., Universidade Federal de Viçosa – UFV. E-mail: alecosi@bol.com.br

³ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Solos – UFV. Av. PH Rolfs, s/n, CEP 36571-000, Viçosa - MG.

1 INTRODUÇÃO

As atividades de beneficiamento do caulim representam perigosas e potenciais fontes de poluição por metais pesados (Fe, Zn e Cd). A qualidade do caulim é comprometida pela presença do Fe, devendo, portanto, ser eliminado por meio da adição de redutores como Zn metálico (SANTOS, 1989). A presença do metal Cd é explicada por ser geoquimicamente semelhante ao Zn, por isso, altas concentrações de Zn, em rochas e solos, tendem a indicar presença de Cd (MILLER; McFEE, 1983).

Uma indústria mineradora de caulim, situada no município de Ubá-MG, produz, durante o processo de branqueamento do caulim, um rejeito que apresenta metais como Fe, Zn e Cd. Este rejeito é aterrado fora das normas, por isto pode estar contaminando o solo da área. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, instituição fiscalizadora do meio ambiente do Estado de São Paulo, exige, dentre outras condições técnicas, que o *subsolo do local a ser utilizado para a disposição de resíduos tenha alto teor de argila e condutividade hidráulica menor que 10^{-4} cm s⁻¹, e o solo possua, entre o fundo do aterro e o nível mais alto do lençol freático, uma camada não saturada de pelo menos 1,5 m* (MATOS, 1995). Deve-se, portanto, fazer monitoramento na concentração de metais, visando um controle ambiental na área e na circunvizinhança

A determinação da concentração de metais totais constitui um procedimento eficiente para se avaliar a contaminação do solo. Porém, é insuficiente para determinar diferentes formas químicas destes metais no solo, definir níveis potenciais de risco e diagnosticar o impacto que podem causar ao meio (SONG; WILSON; MOON, 1999). A proporção que o solo, com baixos níveis de metais, vai sendo contaminado com as formas metálicas, que antes estavam indisponíveis (forma residual), a sua disponibilidade começa a aumentar graças à presença de formas associadas a carbonatos, óxidos, trocável e solúvel, respectivamente; induzindo à contaminação do ambiente (CHLOPECKA; BACOH; WILSON, 1996).

Para melhor avaliar a disponibilidade dos metais no ambiente, é necessário, em vez de extração simples, fazer extrações seqüenciais, pois este procedimento fornece informações sobre as formas geoquímicas nas quais os elementos se encontram no solo (HOWARD; VANDENBRINK, 1999; PETRUZZELLI; LUBRAHO; GUIDI, 1985). O procedimento envolve a adição sucessiva de reagentes químicos conhecidos que extraem seletivamente ou dissolvem as várias fases que compõem a amostra (MILLER; MARTENS; ZELAZNY, 1986). Neste sentido, este trabalho se propõe avaliar, por meio de extração total e seqüencial, os teores e formas dos metais Fe, Zn e Cd, em um material de aterro coletado em área degradada por mineração de caulim.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico (CAMARGO; KLAMT; KAUFFMAN, 1987), sendo que na área do aterro tem-se mistura de solo e estéril (material inócuo, descartado após extração do minério). A área possui uma altitude de 380 m, precipitação de 1200 a 1500 mm/ano e situa-se entre as coordenadas UTM 709000 e 708500 E e, 7661500 e 7660550 N.

Foram coletadas amostras superficiais do material do aterro em 10 pontos da área,

(P_1 a P_{10}). Estas amostras compostas foram obtidas por meio de mistura de três amostras simples coletadas em espaçamento triangular de 1 m. Para efeitos comparativos, também foram coletadas amostras de solo a montante do aterro para servir como controle (C), neste caso, a amostra composta foi obtida da mistura de duas simples. Devido ao desconhecimento por parte da empresa, o volume, a profundidade e o local da disposição do rejeito (proveniente do beneficiamento) não foram especificados. A empresa acredita que deva se situar entre os pontos 2, 3 e 4 apontados na Figura 1.

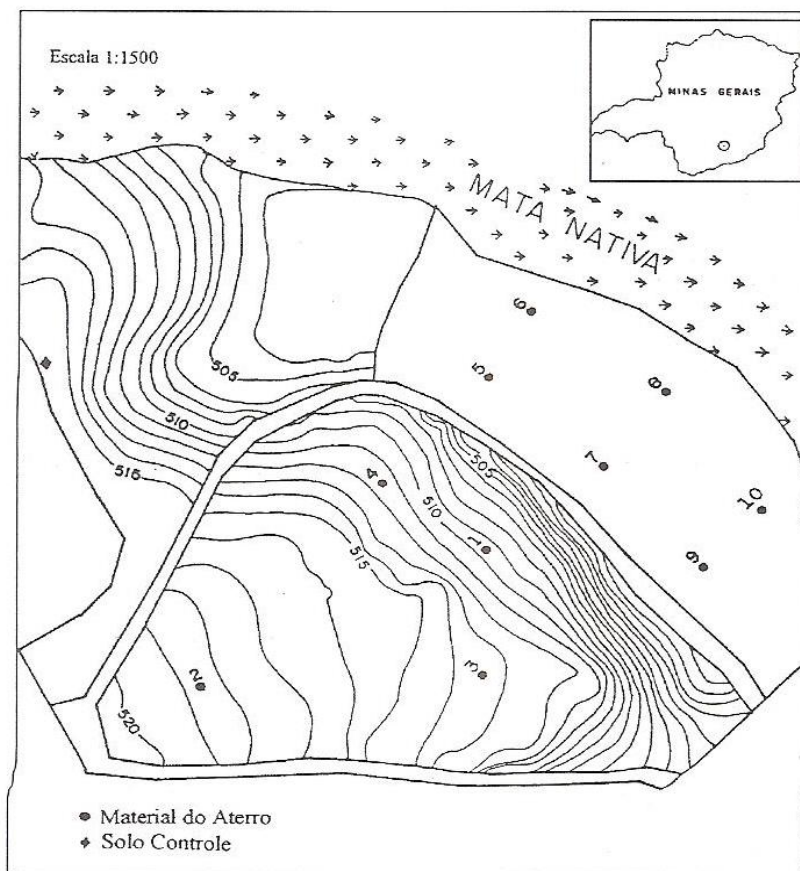


Figura 1 – Localização dos pontos de coleta das amostras na área do aterro.

As amostras foram analisadas quanto ao pH em H_2O e KCl na relação de 1:2,5; Ca, Mg, Na, K e Al trocáveis, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), P disponível segundo Embrapa.Snlcs (1997) e carbono orgânico segundo Yeomans e Bremmer (1988) e análise granulométrica segundo Embrapa.Snlcs (1997). As concentrações dos metais totais foram obtidas por meio de extração ácida ($HNO_3/HClO_4$, proporção 3:1). No fracionamento dos metais utilizaram-se, seqüencialmente, em cada amostra, os seguintes extratores: KCl $0,005 mol L^{-1}$, para metais solúveis (MANN; RITCHE, 1993); $BaCl_2$ $0,1 mol L^{-1}$, para metais trocáveis (MANN; RITCHE, 1993); NaOAc 1M, pH 5,0 (ajustado com HOAc), para metais associados a carbonatos (TESSIER; CAMPBELL; BISSON, 1979); $NH_2OH.HCl$ 0,05M em HOAc a 25% (v/v) a 95 °C, para metais ligados a óxidos-Fe, Mn (SONG; WILSON; MOON, 1999) e, finalmente, digestão do resíduo com mistura (3:1) de $HNO_3/HClO_4$ (RAURET, 1998).

Visando estudar a interferência de lavagens sucessivas com água durante os fracionamentos, os autores deste trabalho fizeram a extração seqüencial em duas etapas: a) extração com lavagem (embora tenha a possibilidade de perdas de amostra durante as respectivas lavagens, este procedimento elimina os interferentes deixados por extratores usados nos fracionamentos anteriores); b) extração sem lavagem (embora presente a interferência

de extratores anteriores, modificando a ação dos próximos extratores, este procedimento é mais rápido, e não há perda de amostra).

As concentrações dos metais Fe, Zn e Cd (totais e fracionados) foram determinadas por meio de espectrofotômetro GBC 908AA, em chama ar-acetileno. Visando-se inibir o efeito de matriz, construíram-se curvas-padrões específicas para cada extrator.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises químicas do material do aterro (TABELA 1) indicaram que a área, em geral, não demonstra problemas com relação à fertilidade, quando comparada a solos agricultáveis de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), apesar dos baixos valores de carbono orgânico (C_{org}) e P disponível. Os teores de Ca e P são decorrentes da adição de calcário e adubo realizada pela empresa visando a recuperação da área. Os resultados da análise granulométrica (TABELA 1) indicam que a textura do material do aterro é considerada arenosa. A fraca afinidade dos metais com a fração areia pode favorecer arraste lateral de elementos para outras áreas (INYANG, 2000). Chlopecka, Bacon e Wilson (1996) enfatizam a importância da textura do solo na disponibilidade dos metais para outros compartimentos ambientais (bióticos ou abióticos). Os valores de DpH (pH em H_2O – pH em KCl) sugerem predominância de cargas negativas na fração argila. O pH alcalino do rejeito

(7,8 e 7,2 para determinações em H₂O e KCl, respectivamente) também favoreceu, por meio de precipitação, a retenção dos metais. Caso o rejeito fosse ácido, a disseminação dos metais seria maior, pois o pH do material do aterro já é ácido (variando de 5,1 a 5,5 e de 4,1 a 5,3; em H₂O e KCl, respectivamente).

Comparando os resultados das concentrações totais de metais no material do aterro (TABELA 2) com o valor de referência: 5,1 dag kg⁻¹, 80 µg g⁻¹ e 0,2 µg g⁻¹, para Fe, Zn e Cd, respectivamente, (LINDSAY, 1979), percebe-se que todos os pontos amostrados apresentaram contaminação

por Zn e Cd, enquanto somente os pontos: P₁, P₄ e P₇ apresentaram contaminação por Fe. Vale ressaltar que a presença dos metais Zn e Cd em concentrações acima de 300 e 5 µg g⁻¹, respectivamente, caracteriza uma situação de extrema poluição (KABATA-PENDIAS; ADRIANO, 1995). Com base nestas informações, as condições mais críticas ocorreram nos pontos P₁, P₄ e P₇, explicada pela declividade e a proximidade destes pontos em relação ao aterro, indicando que houve arraste e, conseqüentemente, uma concentração de metais nestes pontos (Figura 1). Na amostra controle não foram detectados valores preocupantes para os metais estudados.

TABELA 1 – Características físico-químicas das amostras

Pontos (cm)	C _{org} g kg ⁻¹	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg cmol _c dm ⁻³	Na mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Al cmol _c dm ⁻³	(H ⁺⁺ Al) mg dm ⁻³	P mg dm ⁻³	areia g kg ⁻¹	silte g kg ⁻¹	argila g kg ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl
P ₁	0,9	3,1	1,6	34	40	0,027	1,2	8,4	810	170	20	5,8	5,3
P ₂	2,8	1,2	0,6	42	32	0,13	4,7	4,8	620	320	60	5,1	4,4
P ₃	2,5	1,6	1,2	29	20	0,32	1,9	5,3	610	210	80	5,1	4,3
P ₄	1,9	6,1	3,4	33	30	ND	1,6	13	530	440	30	5,8	5,1
P ₅	1,8	2,3	2,5	49	37	0,086	1,2	11	660	280	60	5,9	4,5
P ₆	5,2	1,1	0,8	28	30	0,27	3,2	5,9	430	330	90	5,4	4,3
P ₇	0,9	3,6	1,4	31	18	ND	1,5	23	870	100	30	5,7	5,1
P ₈	2,2	0,1	0,7	21	31	1,1	2,0	5,8	690	220	90	5,2	4,1
P ₉	1,5	1,6	1,6	17	30	0,38	1,6	30	580	300	120	5,4	4,4
P ₁₀	1,6	2,3	2,9	28	37	0,19	1,3	42	670	230	100	5,5	4,3
C	2,8	0,5	0,5	47	18	1,4	3,1	3,2	630	260	110	4,8	4,8
Rejeito	NA	62	1,4	59	45	0,013	2,2	25	NA	NA	NA	7,8	7,2

ND = não-detectado.

NA = não-analisado.

A presença elevada de metais totais encontrada no material do aterro é a principal causa da degradação da área. Por isto, o projeto de recuperação que atualmente está sendo realizado na área é imprescindível para evitar um grande risco ambiental para áreas circunvizinhas e para os mananciais hídricos da região.

Os resultados das extrações seqüenciais realizadas com e sem lavagem entre os fracionamentos apresentaram diferenças (TABELA 2). Percebe-se que todos os valores obtidos após lavagem com água foram menores, explicado pela perda de material por meio de solubilidade. Embora existam diferenças, o procedimento sem lavagem é melhor aplicado para extrações seqüenciais, pois não é laborioso e as extrações seqüenciais com lavagem não

foram eficientes para eliminação de interferentes deixados por extratores anteriores (GOMES; FONTES; COSTA, 1997).

Percebe-se que as maiores concentrações de Cd no material do aterro (TABELA 2) foram encontradas na forma trocável. Este comportamento pode ser explicado pela maior mobilidade dessa forma geoquímica (ALLOWAY, 1993). Enquanto a maior ocorrência de Fe e Zn foi na forma residual. Estes resultados foram semelhantes àqueles obtidos por Maiz, Esnaola e Millan (1997) para Fe; e para Zn por Nyamangara (1998) que encontrou cerca de 50% de Zn nesta fração. Já a amostra controle não apresentou contaminação por metais nas diferentes formas geoquímicas estudadas.

TABELA 2 – Concentração total dos metais Fe, Zn e Cd^a
(Média ± desvio-padrão)

Pontos (cm)	Fe total (dag kg ⁻¹)	Zn total (µg g ⁻¹)	Cd total (µg g ⁻¹)
P ₁	5,8 ± 1	1080 ± 70	5,3 ± 0,4
P ₂	4,4 ± 0,2	217 ± 35	3,6 ± 0,1
P ₃	4,4 ± 0,3	310 ± 50	4,1 ± 0,2
P ₄	7,3 ± 1,2	950 ± 110	4,1 ± 0,4
P ₅	3,6 ± 0,4	240 ± 32	3,6 ± 0,8
P ₆	3,5 ± 1,2	120 ± 22	3,7 ± 0,1
P ₇	6,2 ± 2	567 ± 98	3,6 ± 0,1
P ₈	2,8 ± 0,0	117 ± 9	3,7 ± 0,0
P ₉	4,2 ± 0,3	220 ± 15	3,6 ± 0,1
P ₁₀	4,2 ± 0,0	275 ± 50	4,5 ± 0,0
C	1,1 ± 0,1	82 ± 10	1,6 ± 0,2
Rejeito	6,3 ± 0,0	6250 ± 190	8,5 ± 1,2

A explicação para a ausência de Cd na fração óxidos (TABELA 2) deve estar ligada ao fato de o extrator $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$, embora específico para óxidos, não ser eficiente a ponto de dissolver os óxidos de Fe e Mn (RAURET, 1998). Este comportamento também foi observado por Song, Wilson e Moon (1999) e Gomes, Fontes e Costa (1997). Um procedimento eficiente para dissolução total destes óxidos seria aquecer o extrator $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ ou adicionar HCl concentrado (CHAO; ZHOU, 1989).

Os teores de metais na fração óxidos na etapa com inclusão da fração carbonato revelaram que os valores obtidos na fração óxido não sofreram alterações na presença e ausência da fração carbonato (TABELA 2), inferindo-se que a ação do extrator $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ foi seletiva ao ponto de excluir aqueles metais ligados a carbonatos. Este extrator é um agente redutor, diferente do NaOAc cuja ação é por dissolução. Alguns autores acreditam que $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ não dissolve a fração carbonato (NYAMANGARA, 1998).

A ausência de Cd na fração solúvel deve estar relacionada à baixa concentração do KCl ($0,005\text{mol L}^{-1}$). Acredita-se que o extrator KCl possa extrair apenas formas de Cd presentes na solução do solo (fração solúvel), enquanto o BaCl_2 possa extrair os metais retidos, por forças eletrostáticas (fração trocável), nas cargas negativas das argilas por meio de reações de troca (MANN; RITCHIE, 1993). A presença de Cd na fração carbonato é explicada pela afinidade do Cd

com o $\text{CO}_3^{=}$, pois ele é encontrado coprecipitado em minerais carbonatados na forma CdCO_3 no solo (ALLOWAY, 1993). Metais ligados à fração trocável e carbonatos poderão ser mais facilmente liberados diante de mudanças no meio, principalmente se ocorrer redução de pH (SHUMAN, 1985). A maior preocupação com o Cd, em comparação com Fe e Zn, deve-se à elevada toxicidade, mesmo em baixas concentrações (FERGUSON, 1990).

Embora o cálculo da soma das concentrações obtidas após extração sequenciais tenha o mesmo significado quando comparado à concentração dos metais totais (TABELA 3), os resultados não foram reprodutíveis. Esta variabilidade é comum e também foi observada por outros autores (MAIZ; ESNAOLA; MILLAN, 1997; SHUMAN, 1985). A variação deve-se ao fato de os resultados das extrações sequenciais dependerem das condições experimentais, isto é, mesmo uma pequena mudança nos procedimentos analíticos induz à uma maior variação nos resultados finais, principalmente quando comparados às extrações simples (RAURET, 1998).

Formas como solúvel e trocável apresentam grande risco para os mananciais próximos à área devido à alta solubilidade, enquanto as formas carbonato, óxidos e residual são preocupantes no sentido de poderem ser disponibilizadas por ação do tempo e por mudanças nas condições ambientais. Em geral, a ocorrência de Fe e Zn foi maior na forma residual, enquanto Cd predominou na trocável.

TABELA 3 – Concentração de metais após extração sequencial ($\mu\text{g g}^{-1}$)^a

continua

Pontos ^b de coleta	Fe solúvel ^A	Zn solúvel ^A	Cd solúvel ^A	Fe solúvel ^B	Zn solúvel ^B	Cd solúvel ^B
P ₁	2,4 ± 0,4	17 ± 2	0,08 ± 0,03	5,3 ± 0,9	17 ± 3	0,08 ± 0,03
P ₂	<0,05	36 ± 5	<0,03	<0,05	40 ± 2	<0,03
P ₃	2,9 ± 0,9	10 ± 1	<0,03	0,8 ± 0,3	10 ± 1	<0,03
P ₄	1,2 ± 0,2	14 ± 2	<0,03	1,2 ± 0,1	15 ± 1	<0,03
P ₆	<0,05	3,7 ± 0,8	<0,03	2,1 ± 1	5,5 ± 0,5	<0,03
P ₇	1,1 ± 0,06	36 ± 10	0,05 ± 0,0	0,4 ± 0,1	49 ± 4	<0,03
P ₈	<0,05	5,3 ± 1,5	<0,03	0,8 ± 0,6	7,8 ± 1,2	<0,03
P ₉	<0,05	6,6 ± 2	<0,03	<0,05	9,5 ± 3	<0,03
P ₁₀	<0,05	5,4 ± 0,1	<0,03	<0,05	6,8 ± 0,5	<0,03
C	<0,05	0,8 ± 0,2	<0,03	<0,05	0,7 ± 0,3	<0,03
Rejeito	6,0 ± 1,0	31 ± 0,7	0,08 ± 0,0	5,9 ± 2,5	34 ± 0,5	0,08 ± 0,0
Pontos de coleta	Fe trocável	Zn trocável	Cd trocável	Fe trocável	Zn trocável	Cd trocável
P ₁	2,8 ± 0,1	110 ± 5	1,2 ± 0,08	8,7 ± 1	127 ± 8	1,9 ± 0,1
P ₂	5,6 ± 0,3	101 ± 2	1,0 ± 0,05	5,7 ± 0,3	103 ± 5	1,9 ± 0,1
P ₃	3,9 ± 0,2	13 ± 1	1,5 ± 0,3	13 ± 2	45 ± 3	1,9 ± 0,2
P ₄	5,8 ± 0,7	130 ± 3	1,5 ± 0,2	7,2 ± 1	132 ± 12	1,9 ± 0,03
P ₅	1,3 ± 0,5	6,0 ± 2	1,3 ± 0,1	6,8 ± 0,4	15 ± 1	2,3 ± 0,3
P ₆	5,1 ± 0,1	13 ± 0,2	1,5 ± 0,05	5,5 ± 0,08	29 ± 3	2,1 ± 0,1
P ₇	4,1 ± 0,2	60 ± 8	1,5 ± 0,07	16 ± 3	65 ± 5	1,9 ± 1
P ₈	1,5 ± 0,2	4,0 ± 0,08	1,2 ± 0,03	6,6 ± 0,2	23 ± 5	2,0 ± 0,08
P ₉	2,1 ± 0,08	35 ± 4	1,2 ± 0,08	4,6 ± 0,2	36 ± 5	1,9 ± 0,08
P ₁₀	2,3 ± 0,4	19 ± 3	1,2 ± 0,2	2,4 ± 0,5	43 ± 8	1,8 ± 0,1
C	0,9 ± 0,1	2,5 ± 0,4	0,6 ± 0,3	2,1 ± 1	2,6 ± 1	0,9 ± 0,1
Rejeito	1,6 ± 0,2	114 ± 15	1,4 ± 0,1	1,6 ± 0,1	152 ± 13	2,1 ± 0,3
Pontos de coleta	Fe carbonato	Zn carbonato	Cd carbonato	Fe carbonato	Zn carbonato	Cd carbonato
P ₁	3,5 ± 0,1	84 ± 9	1,5 ± 0,05	NA ^c	NA	NA
P ₂	2,5 ± 0,2	6,1 ± 0,8	1,5 ± 0,1	NA	NA	NA
P ₃	3,8 ± 0,3	7,2 ± 0,2	1,5 ± 0,2	NA	NA	NA
P ₄	2,3 ± 0,3	56 ± 5	1,6 ± 0,4	NA	NA	NA
P ₅	1,7 ± 0,2	2,1 ± 0,08	1,6 ± 0,05	NA	NA	NA
P ₆	1,6 ± 0,08	1,8 ± 0,2	1,3 ± 0,1	NA	NA	NA
P ₇	2,4 ± 0,1	58 ± 6	1,6 ± 0,2	NA	NA	NA
P ₈	1,1 ± 0,1	1,4 ± 0,2	1,0 ± 0,0	NA	NA	NA
P ₉	1,4 ± 0,05	3,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	NA	NA	NA
P ₁₀	1,6 ± 0,3	3,4 ± 0,4	1,3 ± 0,3	NA	NA	NA
C	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,1	NA	NA	NA
Rejeito	13 ± 4	130 ± 15	1,5 ± 0,1	NA	NA	NA

TABELA 3 – Concentração de metais após extração sequencial ($\mu\text{g g}^{-1}$)^a

Pontos de coleta				conclusão		
	Fe óxidos ^d	Zn óxidos	Cd óxidos	Fe óxidos ^d	Zn óxidos	Cd óxidos
P1	0,2 ± 0,01	337 ± 20	<0,03	0,3 ± 0,02	625 ± 50	<0,03
P2	0,2 ± 0,03	47 ± 5	<0,03	0,4 ± 0,05	75 ± 10	<0,03
P3	0,2 ± 0,05	16 ± 2	<0,03	0,4 ± 0,06	32 ± 6	<0,03
P4	0,2 ± 0,04	468 ± 50	<0,03	0,4 ± 0,05	600 ± 50	<0,03
P5	0,1 ± 0,0	16 ± 5	<0,03	0,2 ± 0,05	19 ± 3	<0,03
P6	0,2 ± 0,01	16 ± 4	<0,03	0,3 ± 0,05	27 ± 5	<0,03
P7	0,2 ± 0,04	275 ± 55	<0,03	0,3 ± 0,05	425 ± 40	<0,03
P8	0,1 ± 0,0	15 ± 5	<0,03	0,2 ± 0,0	17 ± 4	<0,03
P9	0,2 ± 0,03	21 ± 3	<0,03	0,3 ± 0,08	27 ± 5	<0,03
P10	0,1 ± 0,0	27 ± 8	<0,03	0,2 ± 0,05	37 ± 10	<0,03
C	<0,05	2,3 ± 0,3	<0,03	<0,05	2,5 ± 0,2	<0,03
Rejeito	0,9 ± 0,1	2800 ± 400	0,05 ± 0,0	0,8 ± 0,2	6700 ± 500	0,05 ± 0,0
Pontos de coleta	Fe residual ^d	Zn residual	Cd residual	Fe residual ^d	Zn residual	Cd residual
P1	5,4 ± 0,4	287 ± 32	2,5 ± 1	5,6 ± 0,5	294 ± 40	4,1 ± 0,5
P2	2,0 ± 0,1	154 ± 17	2,3 ± 0,2	2,3 ± 0,2	165 ± 4	2,7 ± 0,3
P3	4,9 ± 0,7	143 ± 24	2,2 ± 0,08	5,8 ± 0,3	143 ± 9	3,6 ± 0,4
P4	7,3 ± 0,3	224 ± 25	2,9 ± 0,2	6,9 ± 0,5	273 ± 15	3,7 ± 0,4
P5	3,5 ± 0,3	171 ± 21	1,3 ± 0,05	3,2 ± 0,4	142 ± 5	2,1 ± 0,5
P6	4,2 ± 0,1	129 ± 7	1,5 ± 0,07	5,2 ± 0,2	131 ± 8	3,3 ± 0,4
P7	5,1 ± 0,4	251 ± 18	1,8 ± 0,08	5,8 ± 1	260 ± 30	3,4 ± 0,2
P8	1,8 ± 0,3	102 ± 5	1,2 ± 0,05	2,2 ± 0,1	102 ± 9	3,5 ± 0,3
P9	4,2 ± 0,5	200 ± 5	1,9 ± 0,3	4,7 ± 0,5	195 ± 7	3,3 ± 0,2
P10	4,3 ± 0,4	219 ± 13	2,1 ± 0,5	4,8 ± 0,5	265 ± 40	4,1 ± 0,8
C	1,0 ± 0,3	82 ± 2	0,8 ± 0,1	1,1 ± 0,5	84 ± 12	1,2 ± 0,5
Rejeito	3,3 ± 0,02	349 ± 15	5,9 ± 0,2	3,8 ± 0,5	642 ± 120	6,2 ± 0,2

^a colunas especificando as extrações com lavagem.

^b colunas especificando as extrações sem lavagem.

^c Média ± desvio-padrão.

^d Profundidade 0-20cm.

^e Material não analisado.

^f Valores expresso em dag kg⁻¹.

4 CONCLUSÃO

O solo controle revelou as menores concentrações de metais obtidas após os fracionamentos, não apresentando, com isto, contaminação por metais. Já o rejeito revelou concentrações elevadas de Fe, Zn e Cd em todas as frações, exceto Cd na fração solúvel, explicado, possivelmente, pelo seu pH alcalino. Pode-se concluir que, em geral, a situação da área reflete: a) uma preocupação no que diz respeito aos metais fracionados, principalmente aqueles extraídos com água, pois distúrbios causados por chuvas podem disseminá-los para outras áreas de baixada; b) uma condição de perigo em relação aos metais totais, pois poderão ser liberados diante a mudanças nas condições ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B. J. *Heavy metal in soils*. New York: J. Wiley, 1993. 339p.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.12, p.11-33, 1987.
- CHAO, T. T.; ZHOU, L. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.47, p.225-231, 1989.
- CHLOPECKA, A.; BACON, J. R.; WILSON, M. J. Heavy metals in the environment: forms of cadmium, lead and zinc in contaminated soils from southwest Poland. *J. Environ. Qual.*, v.25, p. 69-79, 1996.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análises de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERGUSSON, J. E. *The Heavy elements – chemistry, impact and health effects*. 5th .ed. New York: Pergamon Press, 1990. 614 p.
- GOMES, P. C.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M. et al. Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.543-551, 1997.
- HOWARD, J. L.; VANDENBRINK, W. J. Sequential extraction analysis of heavy metals in sediments of variable composition using nitrilotriacetic acid to counteract resorption. *Environ. Pollut.*, v.106, p.285-292, 1999.
- INYANG, H. I. Wastre containment, disposal and recycling (215-238). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNOLOGY AND GLOBAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 5., 2000, Belo Horizonte. *Proceedings...* Belo Horizonte: FUNDEP, 2000.
- KABATA-PENDIAS, A., ADRIANO, D. C. Trace elements (139-167) In: REICHCIGL, J. E. *Soil amendments and environmental quality*. Boca Raton: Lewis Pub., 1995. 504p.
- LINDSAY, W. L. *Chemical equilibria in soils*. New York: J. Wiley, 1979. 449p.
- MAIZ, I.; ESNAOLA, V.; MILLAN, E. Evaluation of heavy metal availability in contaminated soils by a short sequential extraction procedure. *The Sci. of the Total Environ.*, v.206, p.107-115, 1997.
- MANN, S. S.; RITCHIE, G. S. P. The influence of pH on the forms of cadmium in four west australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, v.31, p.255-270, 1993.
- MATOS, A. T. *Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão- difusão do Zn, Cd, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG*. 1995. 110p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 1995.
- MILLER, W. P., MARTENS, D. C.; ZELAZNY, L. W. Effect of sequence in extraction of trace metals from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.50, p.598-601, 1986.

- MILLER, W. P., McFEE, W. W. Distribution of cadmium, zinc, copper e lead in soils of industrial Northwestern Indiana. *J. Environ. Qual.*, v.12, p.29-33, 1983.
- NYAMANGARA, J. Use of sequential extraction to evaluate zinc and copper in a soil amended with sewage sludge and inorganic metals salts. *Agri. Ecosystems. and Environ.*, v.69, n.2, p.135-142, 1998.
- PETRUZZELLI, G.; LUBRANO, L.; GUIDI, G. Heavy metal extractability. *Biocycle.*, v.26, p.46-49, 1985.
- RAURET, G. Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment. *Talanta*, v.46, p.449-455, 1998.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 5ª aproximação*. Viçosa (MG): CFEMG, 1999. 359p.
- SANTOS, P. S. *Ciência e tecnologia de argila*. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1989. v.1.
- SHUMAN, L. M. Fractionation methods for soil microelements. *Soil Sci.*, v.140, n.1, p.11-22, 1985.
- SONG, Y.; WILSON, M. J.; MOON, H. S. et al. Chemical and mineralogical forms of Pb, Zn and Cd in particle size fractions of some wastes, sediments and soils in Korea. *Applied Geochem.*, v.14, p.621-633, 1999.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, v.51, n.7, p.844-851, 1979.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.19, n.3, p.1467-1476, 1988.