

---

## AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR RESÍDUO DE MINERAÇÃO NA ESTRADA SEM PAVIMENTAÇÃO EM ADRIANÓPOLIS (PR)

**Giulia Meneguel Coltro<sup>(1)</sup>**

Aluna de Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP

**Valéria G. S. Rodrigues**

Professora Doutora do Departamento de Geotecnica da Escola de Engenharia de São Carlos EESC/USP

**Joel B. Sígolo**

Professor Doutor do Instituto de Geociências da USP

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos - SP, (16) 33739506, giulia.m.coltro@gmail.com; valguima@usp.br

### INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos pode ser considerado um dos principais desafios na área de mineração, dado que, cada vez mais resíduos têm sido gerados pelo setor e estes, quando dispostos de forma inadequada, podem representar um risco ambiental (SÁNCHEZ, 1994). Além disso, segundo Cunha et al. (2005), os resíduos de mineração podem ser responsáveis por prejuízos à saúde humana através da ingestão de alimentos e água e da inalação de poeira, contendo metais potencialmente tóxicos.

As escórias de fundição e os rejeitos do beneficiamento são os resíduos sólidos resultantes do refino dos metais extraídos nas minas. Correntemente, a escória foi considerada um material inerte. Entretanto, recentemente diversos estudos têm demonstrado o potencial de liberação de metais potencialmente tóxicos em função da interação da escória com as condições ambientais (ETTLER et al., 2001; PARSONS et al., 2001; LOTTERMOSER, 2002; PIATAK et al., 2004; NAVARRO et al., 2008).

Desta forma, destaca-se a importância de medidas e projetos na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, visando a redução, tratamento e disposição final ambientalmente adequada destes resíduos, nesta ordem de prioridade, como estabelecido na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Ettler et al. (2003) estudaram o emprego das escórias em rodovias como um potencial reuso deste material, porém, ao avaliar a mobilidade dos metais potencialmente tóxicos, concluíram que estes resíduos são inadequados para este fim.

Em Adrianópolis (PR), na região do Vale do Ribeira, a usina Plumbeum Mineração e

Metalurgia Ltda atuou durante 50 anos no beneficiamento e fundição do minério de chumbo (Pb). Ao longo de sua operação, a empresa não possuía qualquer plano de gerenciamento dos resíduos sólidos. As escórias foram dispostas diretamente sobre o solo, na forma de pilhas, expostas aos agentes intempéricos entre os anos de 2001 e 2007. Em 2007, parte foi transferida para o aterro de resíduos de mineração a 2 km da planta industrial da empresa. Estas escórias também foram espalhadas ao longo da estrada de terra que liga Adrianópolis (PR) a usina de beneficiamento.

Na estrada, em função do tráfego de veículos e da circulação de pedestres, partículas finas de escória e solo contaminado podem ser inaladas ou ingeridas, por meio da suspensão e da aderência nas mãos das pessoas. Deste modo, existe um potencial de contaminação ambiental e humana associado à presença da escória que deve ser investigado.

## OBJETIVO

O presente estudo objetivou a caracterização física e química do material presente na estrada (solo e escória de fundição, que é considerado resíduo de mineração), em Adrianópolis (PR). A análise foi realizada visando avaliar os potenciais impactos ambientais negativos derivados da disposição deste resíduo na estrada.

## METODOLOGIA

As amostras foram coletadas em 2015 e são compostas pelo solo superficial de uma área delimitada de 1m<sup>2</sup> da estrada em frente à usina Plumbum. A caracterização físico-química da amostra foi realizada através dos ensaios de pH, potencial de óxido-redução (Eh), teor de matéria orgânica (MO), fluorescência de raios-X (FRX), ensaio de lixiviação (NBR ABNT 10.005) e solubilização (NBR ABNT 10.006).

Como o local de estudo é uma estrada, alguns processos específicos, influenciados pelo tamanho das partículas, podem intensificar o risco de contaminação humana. Neste caso, é importante verificar se a escória está presente na amostra e se está associada às partículas de menor dimensão. Deste modo, a amostra total foi peneirada por meio de um conjunto com doze peneiras. Além disso, procedeu-se com a separação das amostras resultantes em duas porções (não magnética e magnética), uma vez que, a escória apresenta, em sua maior parte, propriedade magnética (SAMPAIO, 2011). Para essas amostras, foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e fluorescência de raios-X (FRX).

Por fim, calculou-se o índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ), utilizando a Equação 1, e o fator de risco ecológico ( $E_r^i$ ), por meio da Equação 2. Esses índices têm sido amplamente utilizados na avaliação da contaminação de solos por metais.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 B_n} \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$E_r^i = T_r^i \times \frac{C_{o-1}^i}{C_n^i} \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde,  $C_n$  corresponde à concentração do metal na amostra,  $B_n$  à concentração *background* do elemento no solo,  $C_n^i$  é o valor de referência adotado, no caso, utilizou-se também a concentração de *background*,  $C_{o-1}^i$  é a média da concentração da substância (i),  $T_r^i$  é o fator tóxico da substância (i), sendo igual a 1 para Zn e 5 para Pb.

## RESULTADOS OBTIDOS

Através do ensaio de FRX, obteve-se que a amostra é constituída basicamente por silício (Si), potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn). Constatou-se, também, a presença de metais potencialmente tóxicos tipicamente associados com as escórias de fundição: chumbo (Pb), zinco (Zn) e cádmio (Cd).

Comparando os resultados do ensaio de FRX das diferentes porções das amostras, notou-se que o Fe, Zn e Pb se encontram predominantemente nas amostras magnéticas (Figura 1) e o Si e o K, nas amostras não magnéticas. Além disso, os grãos magnéticos possuem, em sua maioria, coloração clara, forma irregular e textura porosa, morfologia característica da escória. Deste modo, a quantidade considerável de metais potencialmente tóxicos na amostra pode ser atribuída à presença de partículas de escória.

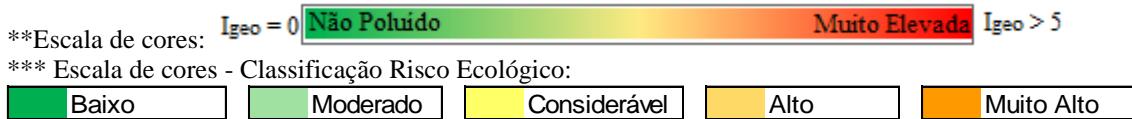
Para avaliar a discrepância entre as concentrações de Pb e Zn da amostra total com os valores naturais da região de estudo (valores de *Background*) e o que isso representa, os índices  $I_{geo}$  e  $E_r^i$  foram calculados. Os valores obtidos estão explicitados na Tabela 1, a seguir, e demonstram que o solo coletado pode ser considerado muito poluído e possui um fator de risco ecológico muito alto para Pb e moderado para Zn.

Tabela 1 – Índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ) e fator de risco ecológico ( $E_r^i$ ) do solo/resíduo coletado e o *background* da área como valor de referência.

	<b>Background (mg/kg)*</b>	<b>Concentrações da Amostra (mg/kg)</b>	<b><math>I_{geo}^{**}</math></b>	<b><math>E_r^i^{***}</math></b>
Pb	16,5	1.174,56	5,57	355,85
Zn	19,4	991,17	5,09	51,14

Fonte: Autora

\*Valores de *background* retirados de MARQUES, 2014;



Para estes elementos, os resultados do ensaio de lixiviação e solubilização, explicitados na Tabela 2, demonstraram a liberação de concentrações acima das estipuladas na Norma NBR ABNT 10.004. Deste modo, o material adquire a característica de toxicidade, sendo assim, classificado como resíduo Perigoso (Classe I).

**Tabela 2 - Concentração de Pb, Zn e Cd obtidos nos ensaios de solubilização e lixiviação.**

Metais	Concentração do Lixiviado (mg/L)	Ensaio de Solubilização (mg/L)
Pb	<b>5</b>	<b>0,29</b>
Zn	43	0,036

Fonte: Autora

\*Limite máximo para o ensaio de lixiviação - Pb: 1 mg/L; Zn: NE (não estabelecido) (ABNT NBR 10.004)

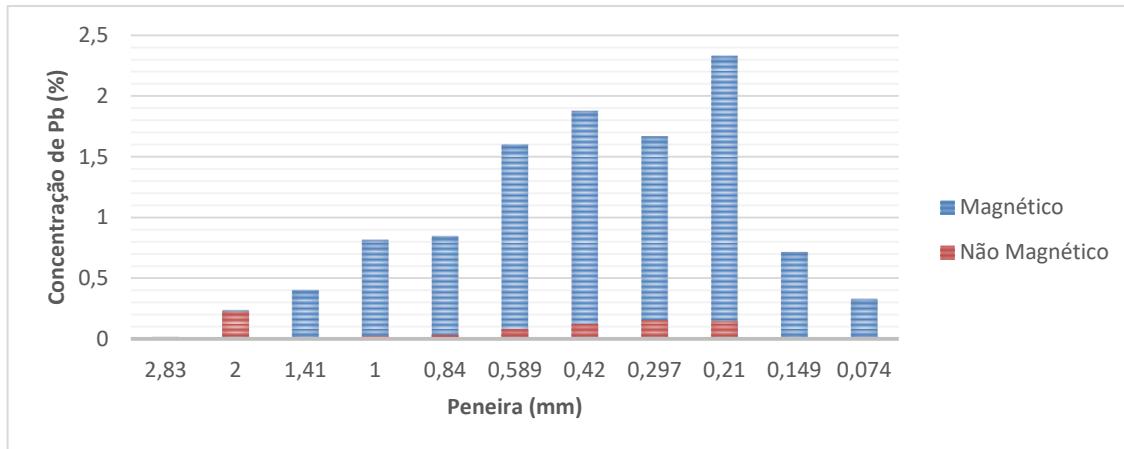
\* Limite máximo para o ensaio de solubilização - Pb: 0,01 mg/L; Zn: 5 mg/L (ABNT NBR 10.004)

Os parâmetros físico-químicos e o teor de matéria orgânica (MO) exercem influência sobre a mobilidade dos metais potencialmente tóxicos no solo. Na amostra analisada, o pH alcalino e o caráter oxidante da amostra favorecem a retenção desses elementos, enquanto o baixo teor de MO favorece a mobilidade.

Em relação aos riscos à saúde humana, verificou-se que 73% da amostra é composta por partículas finas ( $<750\mu m$ ). Segundo Hettiarachchi e Pierzynski (2004), partículas de dimensões inferiores à  $250\mu m$  são relevantes para estimativas de ingestão. Na amostra analisada, estas representam 25% da massa total. No caso das crianças, a ingestão direta de partículas de poeira e solo que ficaram aderidas às mãos é uma relevante rota de exposição (DAVIES et al., 1990). Por outro lado, para alcançar os pulmões as partículas devem possuir dimensões abaixo de  $10 \mu m$  e apenas 2% da amostra permaneceu no fundo do conjunto de peneiras ( $<74\mu m$ ). Este fato pode indicar que a ingestão seja uma via de exposição importante da população local ao Pb.

Além disso, dentre as amostras magnéticas, observou-se as maiores porcentagens de metais potencialmente tóxicos na fração fina, sendo a mais crítica a fração de  $210\mu m$ . Este fato contribui para a contaminação humana, uma vez que, as partículas finas podem, mais facilmente, aderir às mãos e serem suspensas se depositando em hortas ou pastos da região.

Figura 1 – Gráfico da concentração de chumbo nas amostras magnéticas (azul) e não magnéticas (laranja) em função da dimensão das partículas.



Fonte: Autora

## CONCLUSÕES

De modo geral, verificou-se que existe um risco ambiental de contaminação associado à disposição inadequada do resíduo, em função das concentrações significativas de metais potencialmente tóxicos, principalmente Pb e Zn, e da verificação que estes elementos podem ser liberados para o ambiente. Os índices calculados indicaram uma poluição muito elevada para ambos os elementos e um risco ecológico muito alto para Pb e moderado para o Zn. Além disso, a predominância da fração fina na amostra e das altas concentrações dos metais potencialmente tóxicos nestas frações indicam que a contaminação pode estar atingindo a população local, por meio da ingestão de partículas contaminadas.

## AGRADECIMENTOS

A Fapesp pelas bolsas de auxílio (2014/0718-7 e 2016/03011-1).

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004:** resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro. 71 p. 2004.

BRASIL. **Lei n° 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Política Nacional de Resíduos Sólidos.

DAVIES, D. J. A. et al. Lead intake and blood lead in two-year-old UK urban children. **Science of the total environment**, v. 90, p. 13-29, 1990.

ETTLER, V. et al. Primary phases and natural weathering of old lead-zinc pyrometallurgical slag from Príbram, Czech Republic. **The Canadian Mineralogist**, v. 39, n. 3, p. 873-888, 2001.

ETTLER, V.; PIANTONE, P.; TOURAY, J.-C. Mineralogical control on inorganic contaminant mobility in leachate from lead-zinc metallurgical slag: experimental approach and long-term assessment. **Mineralogical Magazine**, v. 67, n. 6, p. 1269-1283, 2003.

HETTIARACHCHI, G. M.; PIERZYNSKI, G. Soil lead bioavailability and in situ remediantion of lead-contaminated soils: a review. **Environmental Progress**, v. 23, n. 1, p. 78 - 93, 2004.

LOTTERMOSER, B. G. Mobilization of heavy metals from historical smelting slag dumps, north Queensland, Australia. **Mineralogical Magazine**, v.66, n.4, p.475-490, 2002.

MARQUES, J. P. **Caracterização geológica-geotécnica de solo residual de eldorado paulista (sp) para uso como barreira selante**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). São Carlos, 2014. 82p.

NAVARRO, A. et al. Metal mobilization from base-metal smelting slag dumps in Sierra Almagrera (Almería, Spain). **Applied Geochemistry**, v. 23, n. 4, p. 895-913, 2008.

PARSONS, M. B. et al. Geochemical and mineralogical controls on trace element release from the Penn Mine base-metal slag dump, California. **Applied Geochemistry**, v. 16, n. 14, p. 1567-1593, 2001.

PIATAK, N. M.; SEAL II, R. R.; HAMMARSTROM, J. M. Mineralogical and geochemical controls on the release of trace elements from slag produced by base-and precious-metal smelting at abandoned mine sites. **Applied Geochemistry**, v. 19, n. 7, p. 1039-1064, 2004.

SAMPAIO, L. de F. **Avaliação da liberação e toxicidade de metais em escória de fundição: o caso da Plumbeum s/a de Adrianópolis (PR)**. Dissertação (Graduação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

SÁNCHEZ, L. E. Gerenciamento ambiental e a indústria de mineração. **Revista de Administração**, v. 29, n. 1, p. 67-75, 1994.