

# RISCO ECOLÓGICO TERRESTRE APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM I DE MINERAÇÃO DE FERRO EM BRUMADINHO (MG, BRASIL)

## TERRESTRIAL ECOLOGICAL RISK AFTER AN IRON MINING DAM FAILURE IN BRUMADINHO (MG, BRAZIL)

**Gustavo Teixeira Koifman**

Aluno de Graduação da Biologia, 9º período, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

Período PIBIC: agosto a Julho de 2023

gustavo.laranjeiras@gmail.com

**Zuleica Carmen Castilhos**

Orientador, Bioquímica, D.Sc.

zcastilhos@cetem.gov.br

**Ricardo Gonçalves Cesar**

Coorientador, Geógrafo, D.Sc.

ricardogc.geo@gmail.com

### RESUMO

Este estudo objetivou avaliar a toxicidade de amostras de solos impactados por rejeitos de mineração (n = 15) depositados em três áreas distintas afetadas pela ruptura da Barragem I em Brumadinho (MG), com base em bioensaios de germinação com *Lactuca sativa* e determinação dos teores potencialmente biodisponíveis de metais. Os resultados apontam que, apesar das altas concentrações totais, os teores biodisponíveis de metais resultaram abaixo de 5% das concentrações totais. Contudo, os fatores de contaminação indicam que as concentrações biodisponíveis podem ser consideradas geoquimicamente anômalas, sobretudo para Al, Fe, Mn e Pb. Os bioensaios revelaram toxicidade a redução significativa da germinação e da biomassa plântulas para quase todas as amostras. Entretanto, a toxicidade não se correlaciona com os metais biodisponíveis, podendo ser decorrente de alterações físicas no solo induzidas pela deposição dos rejeitos e/ou de outros contaminantes não considerados neste estudo.

**Palavras chave:** metais, *Lactuca sativa*, biodisponibilidade, bioensaios.

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate toxicity levels soils impacted by mining tailings (n = 15) deposited in three distinct areas after the dam failure in Brumadinho (MG), based on germination bioassays with *Lactuca sativa* and determination of potentially bioavailable contents of metals. The results indicate that, despite high total metal concentrations, the potentially bioavailable ones of were below 5% of the total concentrations. However, contamination factors suggest that bioavailable metal concentrations can be considered geochemically anomalous, especially Al, Fe, Mn and Pb. The bioassays showed significant reduction of germination and seedling biomass for almost all the samples. The toxicity does not correlate with bioavailable metals, and might be due to physical changes in the soil induced by tailings and/or other contaminants not evaluated in this study.

**Keywords:** metals, *Lactuca sativa*, bioavailability.

## 1. INTRODUÇÃO

Em janeiro de 2019, a “Barragem I” da mina Córrego do Feijão, sob supervisão da Vale S.A, rompeu e liberou cerca de 12 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de mineração de ferro para o meio ambiente. Os rejeitos, misturados com materiais diversos (concreto, solos, vegetação, combustível, etc.) devastaram áreas urbanas e florestais, bem como atingiram o Rio Paraopeba (um importante afluente do Rio São Francisco). Tendo em vista que a deposição desses rejeitos pode alterar a composição física e química natural dos solos e sedimentos, tornam-se imperativos estudos focados nas implicações ecotoxicológicas desse desastre (SIQUEIRA et al., 2022), cuja compreensão está ainda em fase inicial.

Siqueira et al. (2022) realizaram a caracterização física, química, mineralógica, determinação de metais totais e bioensaios com minhocas, colêmbolos, algas e microcrustáceos em amostras de solos impactados pelos rejeitos em Brumadinho (MG). Neste sentido, visando complementar esses dados, a determinação de metais biodisponíveis e execução de bioensaios com vegetais são também altamente promissores e relevantes para subsidiar a proposição de índice de risco ecológico.

## 2. OBJETIVO

Avaliar a toxicidade potencial de solos impactados por rejeitos de mineração de ferro liberados pelo rompimento da Barragem I da Mina do Córrego do Feijão em Brumadinho (MG), com base em bioensaios com sementes de alface (*L. sativa*).

## 3. METODOLOGIA

A amostragem foi realizada em 6 de fevereiro de 2019 por Siqueira et al. (2022) (10 dias após a ruptura da barragem) em três localidades: (i) Zona Quente (ZQ; n = 9), próximo à barragem rompida; (ii) Parque das Cachoeiras (PC; n = 3), a jusante (~10km) da ZQ; e (iii) Alberto Flores (AF; n = 3), imediatamente a jusante de PC e próximo à conexão ao Rio Paraopeba. Uma amostra de solo referência (Ref.) foi coletada à montante da barragem, em um fragmento florestal não contaminado. Em laboratório as amostras foram secas à temperatura ambiente, desagregadas e peneiradas a 2 mm.

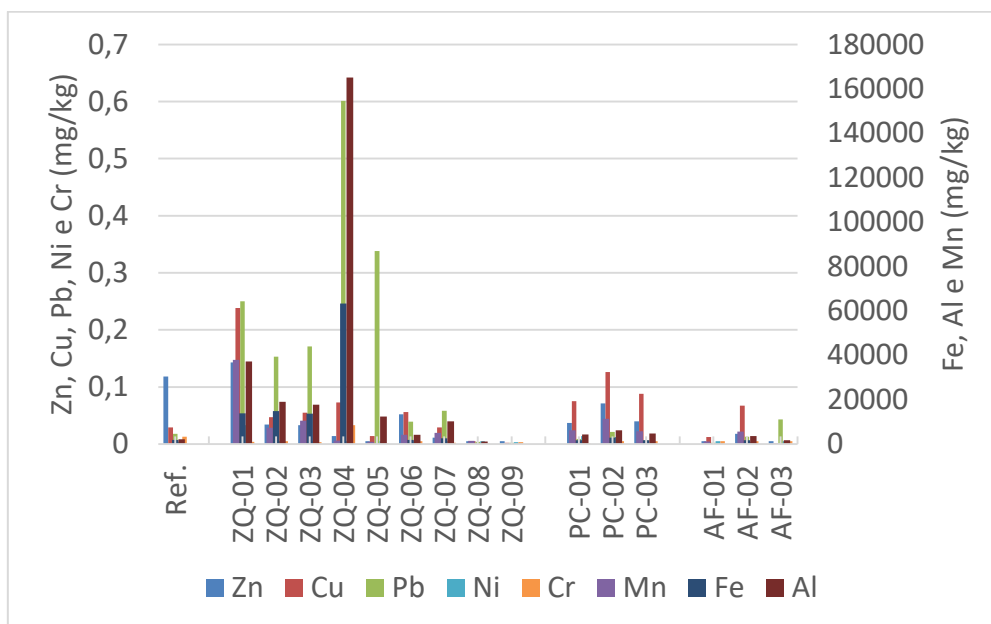
Haja vista que Siqueira et al. (2022) determinaram as concentrações totais de Zn, Cu, Pb, Mn, Ni, Cr, Fe e Al, neste trabalho foram quantificadas as concentrações potencialmente móveis e biodisponíveis destes elementos via extração ácida utilizando HCl 0.1 M em 1g de amostra (CESAR et al., 2011). As concentrações de metais foram quantificadas por ICP-OES. Os fatores de contaminação (FC) de metais foram calculados com base na razão entre a concentração na amostra contaminada e o *background*.

Os bioensaios de germinação com *L. sativa* foram realizados com três réplicas contendo 100g de solo (com umidade ajustada para 40-60% da capacidade de retenção de água) em recipientes teste circulares (15cm de diâmetro) e 40 sementes por réplica (OECD 1984). Cerca de 90g de areia fina de quartzo foi homogeneamente distribuída sobre cada réplica. Após sete dias de teste em incubadora, contabilizou-se o número de sementes germinadas e a biomassa das plântulas (representadas em função do número de sementes germinadas).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

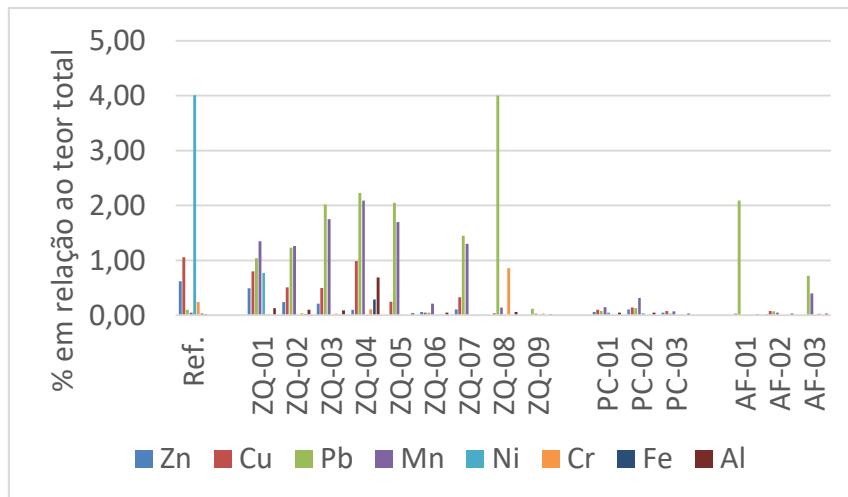
A Figura 1 exhibe as concentrações absolutas de metais potencialmente biodisponíveis quantificados nas amostras. Os dados denotam maiores concentrações (excedendo a amostra referência) e maior variabilidade na ZQ, enquanto para PC e AF concentrações foram mais baixas e mostraram menor variação. As maiores concentrações foram obtidas para o Fe, Al, Mn e Pb. Tendo em vista que a estratégia de coleta adotada englobou a amostragem de solos de cores diferentes (SIQUEIRA et al. 2022 – indicativo de composições químicas e mineralógicas distintas) e a alta energia do fluxo de rejeitos próximo à barragem, espera-se de fato que materiais mais diversos tenham sido depositados próximo à barragem (ZQ), enquanto um

selecionamento do material pode ter ocorrido para áreas mais à jusante (PC e AF) em função da redução da energia. As altas concentrações absolutas de Fe também eram esperadas, haja vista as elevadíssimas concentrações totais de Fe reportadas por Siqueira et al. (2022), com consequente aumento da densidade partícula e redução da capacidade de retenção de água pelo solo.



**Figura 1:** Concentrações de metais potencialmente biodisponíveis em rejeitos de mineração coletados após ruptura da Barragem I em Brumadinho (MG).

A Figura 2 mostra os percentuais das concentrações potencialmente biodisponíveis em relação às concentrações totais determinadas por Siqueira et al. (2022). Tais percentuais podem ser considerados baixos, visto que não ultrapassam 4% das concentrações totais, indicando que os metais estão pouco móveis (menos disponíveis como íon em solução). Esta baixa biodisponibilidade de metais pode decorrer do fato deles eventualmente se encontrarem na matriz do minério e/ou no fato de que a hematita é abundante nos rejeitos e exibe forte afinidade geoquímica com metais (CESAR et al. 2011), reduzindo sua mobilidade geoquímica. Vale destacar ainda os mais elevados percentuais encontrados para o Mn e o Pb (metal altamente tóxico), bem como novamente alta variabilidade dos dados na ZQ. Na amostra-referência, destaca-se o Zn, com percentual de 4%, um micronutriente essencial mais abundante em solos com altos teores de COT (SIQUEIRA et al. 2022). Em todo o caso, embora Siqueira et al. (2022) tenham determinados concentrações totais muito acima dos valores estipulados pela lei brasileira para qualidade de solos e sedimentos, os dados sugerem que a biodisponibilidade de metais é baixa.



**Figure 2:** Percentuais das concentrações potencialmente biodisponíveis de metais em relação às concentrações totais determinadas por Siqueira et al. (2022) em rejeitos de mineração coletados em Brumadinho (MG).

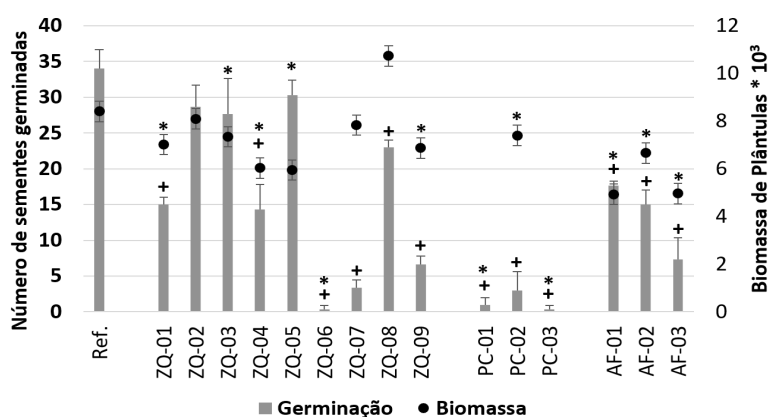
A Tabela 1 exibe os valores de FC obtidos com as concentrações potencialmente biodisponíveis de metais. Ainda que os percentuais em relação às concentrações totais sejam baixos, os FCs sugerem que as concentrações de Mn podem ser consideradas, em média, extremamente altas, com valor máximo de FC de 415,6 (i.e., concentrações na ordem de centenas de vezes acima da referência). Vale destacar também as anomalias encontradas para o Al, Fe e Pb, especialmente na ZQ, com médias de FC indicando concentrações ordem de dezenas de vezes acima da referência. Estes resultados apontam que a deposição dos rejeitos alterou as concentrações potencialmente biodisponíveis de metais nos materiais, com maior variabilidade das concentrações biodisponíveis na ZQ.

**Tabela 1:** Fatores de contaminação de metais em solos impactados por rejeitos de mineração em Brumadinho (MG). ZQ = Zona Quente; PC = Parque das Cachoeiras; AF = Alberto Flores. DP = desvio padrão. Min = Mínimo. Max = Máximo.

Área de Estudo		Zn	Cu	Pb	Mn	Ni	Cr	Fe	Al
ZQ (n = 9)	Média	0,3	2,0	10,0	84,8	2,0	0,5	6,8	14,0
	DP	0,4	2,5	10,9	129,2	2,4	0,8	11,2	24,5
	Min	0,0	0,1	0,1	9,0	0,8	0,1	0,0	0,0
	Max	1,2	8,2	33,4	415,6	8,3	2,5	35,1	77,8
PC (n = 3)	Média	0,4	3,3	0,7	84,7	2,3	0,3	1,2	2,4
	DP	0,2	0,9	0,4	33,9	1,8	0,2	0,4	0,5
	Min	0,3	2,6	0,3	63,0	0,3	0,1	0,9	2,1
	Max	0,6	4,3	1,2	123,8	3,5	0,4	1,6	2,9
AF (n = 3)	Média	0,1	0,9	1,1	27,8	1,2	0,4	0,3	0,8
	DP	0,1	1,2	1,2	29,4	0,1	0,0	0,5	0,8
	Min	0,0	0,0	0,1	9,9	1,0	0,4	0,0	0,0
	Max	0,2	2,3	2,4	61,7	1,3	0,4	0,9	1,7

Os percentuais de germinação de *L. sativa* e a biomassa de plântulas estão demonstrados na Figura 3. Os dados indicam que todas as amostras coletadas na PC e AF tiveram inibição significativa da germinação e da biomassa de plântulas. Na ZQ, seis das nove amostras coletadas também tiveram redução significativa da germinação e da biomassa de plântulas. Análises estatísticas de correlação revelaram a ausência relações significativas entre as

concentrações biodisponíveis de metais e os efeitos tóxicos em *L. sativa*. Contudo, os rejeitos de mineração de ferro exibem granulometria fina, pois o minério é submetido a um processo de moagem. Dessa forma, tendo em vista os dados de distribuição granulométrica das amostras obtidos por Siqueira et al. (2022), a análise correlação de Pearson revelou relações negativas entre o percentual de lama (silte + argila) e a germinação *L. sativa* ( $R^2 = -0.7$ ;  $p < 0,05$ ). A inibição da germinação em função de partículas finas possivelmente decorre da compactação do solo que, atrelada a concentrações anômalas de Fe e baixa capacidade de retenção de água, inibe a germinação das sementes e o estabelecimento efetivo do sistema radicular, afetando a biomassa.



**Figura 3:** Germinação de *L. sativa* e biomassa de plântulas após 7 dias de exposição às amostras de rejeitos coletados em Brumadinho (MG). + e \* = Germinação e biomassa de plântulas significativamente diferentes do controle, respectivamente (Kruskall-Wallis,  $p < 0.05$ ).

## 5. CONCLUSÕES

Os rejeitos de mineração foram tóxicos a *L. sativa*, e a toxicidade está possivelmente atrelada a alterações físicas do solo induzidas pela deposição dos rejeitos (incremento de partículas finas e de Fe) e/ou a contaminantes não considerados no presente estudo. Os teores potencialmente biodisponíveis de metais, embora geoquimicamente anômalos (especialmente para Mn, Fe, Al e Pb), foram baixos e não exibem relação significativa com a toxicidade encontrada no bioensaio. Dentre os metais, destacam-se o Mn e Pb pelos teores mais altos em relação aos demais metais (4% em relação ao total), bem como o Mn pelos elevados valores de FC..

## 6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq pela bolsa concedida e aos orientadores pelo suporte na execução deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1984. Guideline 208: Terrestrial Plants, Growth Test. OECD Guidelines for testing of chemical. OECD, Paris.

CESAR, R.G.; et al. (2011) Mercury, copper and zinc contamination in soils and fluvial sediments from an abandoned gold mining area in southern Minas Gerais State, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 64:211-222.

SIQUEIRA, D.; et al. Terrestrial and aquatic ecotoxicity of iron ore tailings after the failure of VALE S.A mining dam in Brumadinho (Brazil). *Journal of Geochemical Exploration*, 235: 106954.