

Teores de zinco e cobre em área de mineração de carvão sob revegetação de gramíneas perenes

EMERSON MEIRELES DE FARIA¹; BRUNA LEMONS BRISOLARA²; JAKELINE ROSA DE OLIVEIRA³; LUIZ FERNANDO SPINELLI PINTO⁴; LIZETE STUMPF⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – emfarias97@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas- brunalemons.b@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas- lfspin@uol.com.br

⁴Universidade Federal de Pelotas - jakeliner.oliveira@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas - zete.stumpf@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os solos são reservatórios de elementos químicos que desempenham um papel fundamental na manutenção da saúde dos ecossistemas. Entre esses elementos estão os micronutrientes, essenciais para o crescimento das plantas quando presentes em concentrações adequadas. Por outro lado, quando estão em concentrações excessivas podem ocasionar na toxicidade, prejudicando o desenvolvimento vegetal e a qualidade do solo (Al-Obaidi, 2020). Por conta disso, muitos desses elementos podem ser chamados de elementos potencialmente tóxicos (EPTs), de acordo com Misha e Lal (2024).

A mineração de carvão é uma atividade industrial que frequentemente resulta na liberação de EPTs no ambiente através de várias etapas do ciclo do carvão, incluindo extração, processamento, combustão e gestão inadequada de estérreis. Mesmo após a mineração ser cessada, a área ainda pode sofrer com a influência das atividades de mineração que ocorrem no entorno, como a geração de poeira, composta de partículas de carvão e outros contaminantes facilmente dispersas ao vento (Dias, 2024). Os EPTs tornam-se ainda mais perigosos quando reagem com fatores ambientais como água, solo e ar (Misha e Lal, 2024). No solo, esses elementos podem sofrer processos de mobilização e transformação, dependendo de fatores como o pH, a presença de matéria orgânica e a atividade biológica. Esses processos podem aumentar a bioacessibilidade desses elementos, tornando-os mais disponíveis para absorção pelas plantas e organismos, e, consequentemente, aumentar sua toxicidade (Thalassinos et al. 2023). Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a disponibilidade do zinco (Zn) e cobre (Cu) em um solo reconstruído após a mineração de carvão aos 8,6 e 20 anos de restauração com gramíneas perenes.

2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma área de mineração de carvão localizada em Candiota, RS. O solo foi construído no início do ano de 2003, e o experimento com gramíneas perenes foi instalado entre novembro e dezembro do mesmo ano. A camada de solo utilizada na área experimental foi retirada do horizonte B do solo natural da área pré-minerada (Argissolo Vermelho), caracterizado por sua textura argilosa (46,5%).

Antes da implantação das gramíneas perenes foi realizada a aplicação de calcário dolomítico na dose de 10,4 Mg ha⁻¹ com PRNT de 100% e a adubação inicial de 900 kg ha⁻¹ da fórmula NPK de 5-20-20, de acordo com o resultado da análise de fertilidade do topsoil. Em 2023, foram aplicadas anualmente 250 kg ha⁻¹

da fórmula NPK 5-30-15 e 250 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio em todas as parcelas da área experimental.

O delineamento experimental foi constituído de blocos ao acaso, utilizando parcelas de 20 m² (5 m x 4 m). Três espécies vegetais foram avaliadas neste estudo, sendo elas: *Hemarthria altíssima*, *Cynodon dactylon* e *Urochloa brizantha*.

No ano de 2012 e 2023, foram coletadas amostras de solo na camada de 0,00-0,10m para a determinação do pH do solo, do teor de carbono orgânico do solo (COT) e dos EPTs no solo. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório do Departamento de Solos FAEM/UFPEL, e foram secas ao ar e peneiradas em malha de abertura de 2 mm.

O pH foi determinado em água na relação 1:1 (solo:água), enquanto que o COT foi determinado pelo método de combustão Walkley-Black. Para a determinação dos EPTs, as amostras foram submetidas à digestão ácida pelo método USEPA 3050B. A escolha do método USEPA 3050B deu-se por ser uma norma de orientação reconhecida internacionalmente. O método 3050B da EPA é utilizado para a digestão ácida dos solos, sedimentos e lamas, com foco na análise de metais que podem se tornar disponíveis no ambiente (EPA, 1996). Por fim, as análises de elementos biodisponíveis, como o Zn e Cu, foram conduzidas no Laboratório de Metrologia Química do Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos (LabMeQui) da UFPel. A análise de elementos foi realizada através da técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas (MIP OES). O MIP OES possui o limite de detecção: 0,01 a 0,02 ppm (mg/L). Os teores de Zn e Cu foram comparados aos valores de referência qualidade (VRQ) do solo para elementos químicos naturalmente presentes na província geomorfológica de rochas sedimentares pelíticas da Depressão Periférica, Rio Grande do Sul (Portaria FEPAM n.º 85/2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução dos dados de pH do solo em água mostra que dos 8,6 aos 20 anos de restauração houve uma pequena diminuição dos valores na camada 0,00-0,10 m do solo sob a *Hemarthria altíssima* (de 6,2 para 5,9) e sob a *Urochloa brizantha* (de 6,1 para 5,5), enquanto que sob o *Cynodon dactylon* os valores praticamente não se alteraram (de 5,7 para 5,9) (Tabela 1). De qualquer forma, aos 20 anos de restauração a camada de 0,00-0,10 m do solo minerado ainda está próximo ou é superior ao valor de referência para gramíneas perenes de verão (pH>5,5), de acordo com o CQFS (2004). Este resultado mostra o efeito positivo e de longo prazo da calagem realizada em 2003, associada também ao incremento de COT durante este período, já que sob todas as gramíneas perenes os teores evoluíram de 8,4 a 10,4 g kg⁻¹ em 2012 para 21,1 a 24,3 g kg⁻¹ em 2023 (Tabela 1).

Em relação aos teores de EPTs, a faixa de pH do solo aos 20 anos de restauração ainda é benéfica para a absorção do Zn e Cu. Para o Zn (Figura 1) os teores tiveram um aumento dos 8,6 aos 20 anos sob a *Urochloa brizantha* (de 22,17 para 24,50 mg kg⁻¹) e sob a *Hemarthria altíssima* (de 28 para 31,5 mg kg⁻¹). Contudo, apenas a *Hemarthria altíssima*, obteve concentrações de Zn acima do VRQ (31 mg kg⁻¹). O incremento do Zn no solo deve-se possivelmente ao acréscimo do teor de matéria orgânica sob estes tratamentos (Tabela 1), favorecendo a retenção de metais no topsoil (Rutkowska et al., 2015). Por outro lado, mesmo com incremento de matéria orgânica no solo sob *Cynodon dactylon*, de 2012 para 2023 (Tabela 1), houve uma redução significativa dos teores de Zn no solo entre este período (de 35 para 17,5 mg kg⁻¹), evidenciando o potencial de fitorremediação

desta gramínea (Figura 1). Segundo Albornoz et al. (2016), as raízes dessa gramínea são o principal local de armazenamento de metais, com forte correlação entre os teores de Zn no solo e nas raízes, além de um alto potencial de translocação do zinco para as folhas.

Tabela 1. pH do solo em água e teor de carbono orgânico total (COT) na camada de 0.00-0.10 m de um solo reconstruído após a mineração de carvão sob restauração com gramíneas perenes aos 8.6 anos (2012) e aos 20 anos (2023).

Gramíneas perenes	pH em água		COT (g kg ⁻¹)	
	2012	2023	2012	2023
<i>Hemarthria altissima</i>	6,2	5,9	8,4	21,1
<i>Cynodon dactylon</i>	5,7	5,9	8,4	20,1
<i>Urochloa brizantha</i>	6,1	5,5	10,4	24,3

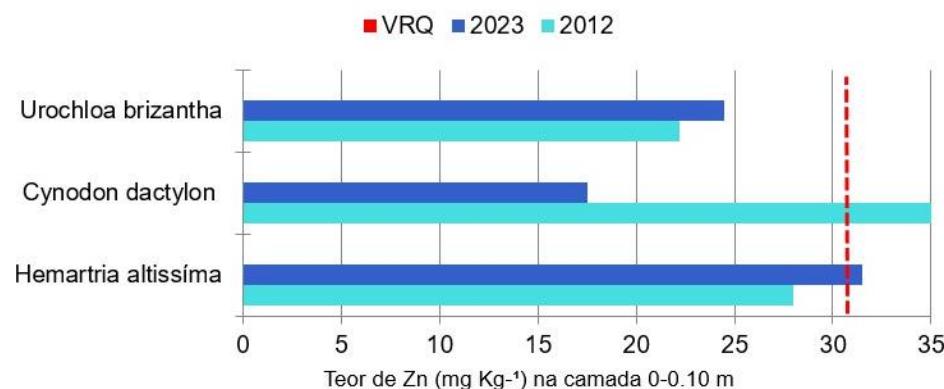


Figura 1 - Teores de Zn na camada de 0,00-0,10 m de um solo construído após a mineração de carvão sob revegetação de gramíneas perenes aos 8,6 (2012) e 20 anos (2023).

Em relação aos teores de Cu, a Figura 2 mostra que sob as gramíneas *Urochloa brizantha* e *Cynodon dactylon* houve uma diminuição de seus teores após 20 anos (respectivamente de 21,9 para 17,9 mg kg⁻¹ e (de 21,4 para 16,1 mg kg⁻¹). Já sob a *Hemarthria altissima* o teor de Cu manteve-se estável, de 21,4 para 23,1 mg kg⁻¹. Contudo, ao longo do tempo, sob todos os tratamentos, o solo ultrapassou o VRQ deste EPT (13 mg kg⁻¹).

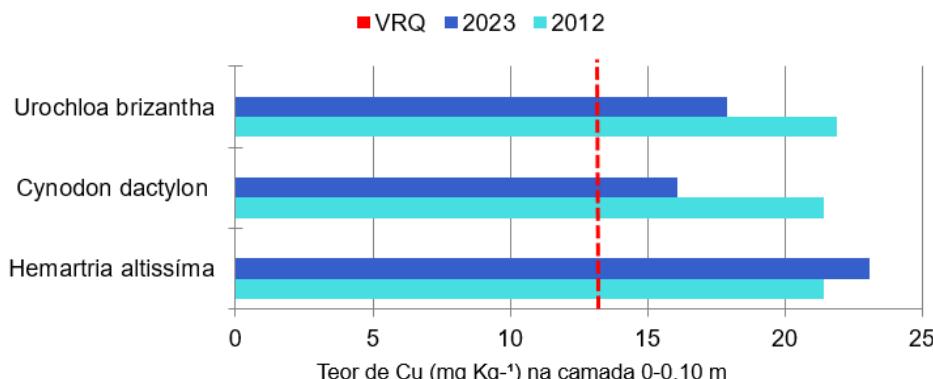


Figura 2 - Teores de Cu na camada de 0,00-0,10 m de um solo construído após a mineração de carvão sob revegetação de gramíneas perenes aos 8,6 (2012) e 20 anos (2023).

4. CONCLUSÕES

Após 20 anos de revegetação com gramíneas perenes, os teores de cobre (Cu) no solo reconstruído permaneceram acima do Valor de Referência de Qualidade (VRQ), sugerindo a existência de uma fonte persistente de contaminação. Essa contaminação superficial pode estar relacionada ao desenvolvimento das raízes, que ao crescerem em profundidade, entram em contato com os estérreis de mineração, os quais ainda contêm metais pesados. Além disso, mesmo após o encerramento das operações mineradoras, a deposição de poeira e partículas oriundas de atividades industriais próximas pode continuar contribuindo para a contaminação do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBORNOZ, C. B.; LARSEN, K.; LANDA, R.; QUIROGA, M. A.; NAJLE, R.; MARCOVECCHIO, J. Lead and zinc determinations in *Festuca arundinacea* and *Cynodon dactylon* collected from contaminated soils in Tandil (Buenos Aires Province, Argentina). *Environmental Earth Sciences*, v. 75, p. 1-8, 2016.
- AL-OBAIDI, Jehad Rashed; LAMIN-SAMBA, Bakary; DI SANSEBASTIAN, Miriam; GONZÁLEZ-GARCÍA, Ramón. Micro- and macronutrient signalling in plant cells: A proteomic standpoint under stress conditions. *ResearchGate*, 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.24331.23848.
- CQFS - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCSNRS, 2004. 400 p.
- EPA. Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1996.
- MISHRA, Akash; LAL, Bindhu. Fate of Potentially Toxic Elements Derived from Coal Mining in Soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 235, n. 298, p. 1-32, 2024. DOI: 10.1007/s11270-024-06159-3.
- Potentially toxic elements: a review on their soil behavior and plant attenuation. *Agriculture*, v. 13, n. 9, p. 1684, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091684>.
- RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM. Portaria nº 085/2014, de 29 de dezembro de 2014. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental no estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202301/27114351-portaria085-2014.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.
- RUTKOWSKA, B.; SZULC, W.; BOMZE, K.; GOZDOWSKI, D.; SPYCHAJ-FABISIAK, E. Soil factors affecting solubility and mobility of zinc in contaminated soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 12, p. 1687-1694, 2015.
- THALASSINOS, Georgios; PETROPOULOS, Spyridon A.; GRAMMENOU, Aspasia; ANTONIADIS, Vasileios, Potentially toxic elements: a review of soil behavior and plant mitigation mechanisms against their toxicity, *Agricultura*, v. 13, n. 1684, p. 1-21, 2023, Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091684>.