



# AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DE LIXIVIADOS DOS CONSTITUINTES DE NICHOS CONSTRUÍDOS EM HORTALIÇAS APÓS SIMULAÇÃO DE CHUVA ÁCIDA

Társsia Alves Ferreira<sup>1</sup>  
Andréa Rodrigues Marques<sup>2</sup>

## Conservação de solos e Recuperação de áreas degradadas (RAD)

### *Resumo*

A indústria de mineração é essencial para a economia, mas, também, causa impactos ambientais significativos, pois elimina a biodiversidade e os recursos naturais da região minerada. O Campo Rupestre (CR), na região do Quadrilátero Ferrífero, é uma vegetação que sofre intensamente os efeitos da degradação da atividade minerária da extração do ferro. Para restaurar os CR nas áreas de canga, uma ferramenta promissora é o uso de Nichos Construídos (NC), que combinam solo da região, rejeito de minério de ferro e aglutinantes. Os NCs oferecem a possibilidade de introduzir a biota natural, principalmente do solo, e reutilizar o rejeito de minério. O estudo teve como objetivo avaliar a ecotoxicidade de lixiviados ácidos dos constituintes dos NCs por meio de testes de germinação de sementes. Os lixiviados foram produzidos a partir de uma solução extratora de ácido acético com o pH igual a 4,55 simulando as condições da chuva ácida. Os testes de germinação foram realizados usando sementes de alface (*Lactuca sativa*) e arroz (*Oryza sativa*). Observou-se que mesmo em condições de pH relativamente ácido, as sementes das hortaliças apresentaram pouca variação na taxa e tempo médio de germinação. Contudo, constatou-se que o lixiviado contendo cimento atuou como fator de inibição da germinação, sugerindo que este constituinte possui um certo grau de fitotoxicidade.

**Palavras-chave:** Germinação de sementes; Rejeito de minério de ferro; *Lactuca sativa*; *Oryza sativa*; Nicho construído.

---

<sup>1</sup>Mestranda em Tecnologia de Produtos e Processos – PPGTPP Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Produtos e Processos, tarssiaaf@gmail.com

<sup>2</sup>Profª. Drª. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Departamento Ciências Biológicas Campus Nova Suíça, Belo horizonte- MG, CEFET-MG, andreamg@cefetmg.br



## INTRODUÇÃO

A indústria de mineração é um dos pilares da economia, no entanto, interfere diretamente na qualidade do solo, do ar, da água e da biodiversidade, além de gerar uma quantidade considerável de resíduos, tornando-se um desafio o descarte (FARJANA et al., 2019). Um dos ambientes mais degradados no Brasil em função da extração de minério de ferro é o Campo Rupestre (CR). Esse tipo de vegetação está associado aos depósitos de hematita e apresenta alta biodiversidade endêmica. Os CRs, no Quadrilátero Ferrífero, sobrepõem-se em solos constituídos por uma vegetação subarbusciva herbácea que cresce em uma couraça ferruginosa ou em afloramentos rochosos, um ambiente conhecido como ecossistema de canga (SKIRYCZ et al., 2014; SCHAEFER et al., 2016).

Diante da dificuldade em restaurar áreas degradadas pelas atividades minerárias nos ecossistemas de canga, Marques et al. (2017), propuseram uma ferramenta potencialmente promissora denominada Nicho Construído (NC). O NC pode ser capaz de criar um ambiente colonizável por diversos organismos da região degradada e trazerem consigo componentes bióticos capazes de reabitar espécies nesse ambiente. Os módulos construídos são constituídos por solo da área a ser restaurada, rejeito de minério ferro e aglutinante (cimento), que confere estrutura e forma ao material. A utilização de rejeito de minério oferece a possibilidade de reduzir a estocagem do resíduo em barragens, permitindo sua realocação no meio ambiente de forma sustentável. É essencial, portanto, reintroduzir a biota natural do ambiente, o que justifica a proposta de utilizar o solo da região a ser restaurada (MARQUES et al., 2017; COUTO, 2020).

Estudos recentes têm demonstrado que a redução do pH em rejeito de mineração de ferro tende a aumentar as concentrações de elementos potencialmente tóxicos para o meio ambiente, que estavam previamente adsorvidos em óxidos de ferro e outros materiais coloidais (SILVA et al., 2022; QUEIROZ et al., 2021). Consequentemente, torna-se imprescindível avaliar a qualidade dos componentes constituintes do nicho construído, com o objetivo de garantir a segurança ambiental durante o processo de recuperação das áreas degradadas.

### Realização



Diversas metodologias podem ser adotadas afim de verificar a qualidade desses materiais. Entre as abordagens frequentemente utilizadas, destacam-se os testes ecotoxicológicos, os quais envolvem a exposição de organismos pertencentes a diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar ao material potencialmente tóxico. Um dos tipos de testes de ecotoxicidade utilizados são os testes de fitotoxicidade, que se baseiam em testes de germinação, crescimento radicular e/ou taxa de crescimento das plantas. Para tais ensaios, é comum a utilização do lixiviado do resíduo, como exemplificado por estudos com lixiviados proveniente de mineração de ferro (GENG et al., 2020) e resíduos de fundição (BOŻYM, 2020). Isso se justifica pelo fato de nutrientes e poluentes poderem ser diretamente absorvidos pelas plantas a partir de soluções aquosas na forma dissolvida. As diretrizes da OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) fornecem uma lista abrangente de espécies de plantas terrestres amplamente utilizadas para a avaliação da fitotoxicidade (OECD, 2006).

O estudo teve como objetivo avaliar a ecotoxicidade de lixiviados ácidos dos constituintes dos NCs por meio de testes de germinação de sementes. Essa abordagem visa identificar possíveis efeitos negativos dos materiais que compõem os NCs, como rejeito de minério de ferro e cimento e suas combinações, se no meio ambiente houver ocasionalmente chuva ácida.

## METODOLOGIA

### Produção do lixiviado ácido

Para a obtenção do lixiviado foram utilizadas amostras de *topsoil* (L1), rejeito de minério de ferro *in natura* (L2) e as seguintes combinações dos materiais nos NCs: *topsoil* e rejeito (L3); *topsoil*, rejeito e cimento (L4). Utilizou-se uma solução extratora de ácido acético 0,00005 mol/L com o pH igual a 4,55 com objetivo de simular as condições da chuva ácida. Em torno de 0,5 g de amostras (L1 a L4) foram adicionados 20 mL do extrator. As soluções foram agitadas em uma mesa agitadora orbital Cienlab a 220 rpm por um período de 16 horas. Em seguida, foram centrifugadas por 20 min a 3000 rpm na centrífuga de bancada NT 810 (CANEPARI et al., 2005; GENG et al., 2020). Os sobrenadantes das

#### Realização



soluções resultantes foram transferidos para outro frasco, onde foram medidos o pH final com um phmetro da marca Tecnal. As soluções dos lixiviados foram estocadas sob refrigeração à 10 °C.

### Teste de germinação

Sementes comerciais dos cultivares de alface (*Lactuca sativa*) e arroz (*Oryza sativa*) foram submetidas ao teste de germinação. Para o teste com alface utilizou-se 50 sementes e, para o arroz, 25 sementes, ambos testes realizados em quatro repetições. As sementes foram dispostas em placas de Petri forradas com papel filtro e irrigadas com água destilada (controle 1), solução de ácido acético (pH = 4,5) (controle 2) e com os lixiviados (L1, L2, L3 e L4). As placas foram incubadas por 10 dias em câmara de germinação Marconi com fotoperíodo de 12 h a temperatura constante de 25°C. As sementes, tanto da alface quanto do arroz, foram avaliadas diariamente, sendo utilizada a emergência da radícula como critério de germinação (BEWLEY & BLACK, 1994; BALESTRI et al., 2019).

Para o cálculo do tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade média (IVG), segundo Labouriau & Valadares (1976), será usado  $TMG = \sum n_i \cdot t_i / n_{total}$  e  $IVG = 1/t$  (sementes/dia); onde: t = tempo médio de germinação (dias);  $n_i$  = número de sementes germinadas num intervalo de tempo;  $t_i$  = intervalo de tempo; n total = número total de sementes germinadas; v = índice de velocidade média.

Para a avaliação dos efeitos dos lixiviados (L1 a L4) na germinação das sementes foram realizados o cálculo da porcentagem de germinação (G%), tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes. Para as comparações estatísticas os valores de porcentagem foram transformados em arc. sen.  $\sqrt{(\%G/100)}$ . Os valores médios das G%, TMG e IVG para os controles e cada tratamento, foram comparados através de ANOVA *one-way* seguido do teste Tukey HSD (P<0,05), usando o software Statistica 10.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é possível observar as porcentagens de germinação das sementes de

Realização



alface e arroz nos controles (na água e no ácido acético) e sob o efeito das soluções dos lixiviados. Observou-se que a partir do quarto dia 94,5 % das sementes da alface já estavam germinadas para todos os tratamentos, exceto para as sementes que foram irrigadas com o lixiviado L4, que foi estatisticamente menor (Figura 1A; Tabela 1). As porcentagens de germinação para todas as sementes do arroz, independente do tratamento, foram maiores que 97%, e não diferiram estatisticamente.

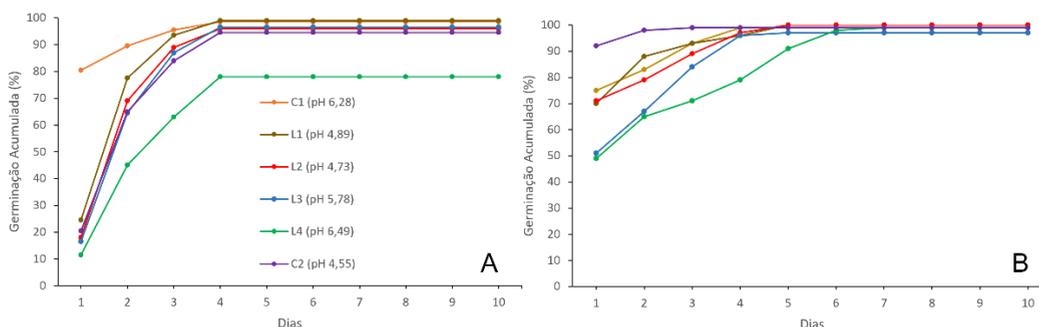


Figura 1: Porcentagem de germinação acumulada de *Lactuca sativa* (alface) (A) e *Oryza sativa* (arroz) (B). C1 (água); C2(solução ácida); L1 (Lixiviado do topsoil); L2 (Lixiviado do rejeito); L3 (Lixiviado do topsoil e rejeito); L4 (Lixiviado do topsoil, rejeito e cimento).

Tabela 1. Porcentagem de germinação (G%), tempo médio de germinação (TMG) e velocidade de germinação das sementes (VMG) de *Lactuca sativa* (alface) e *Oryza sativa* (arroz) nos controles e diferentes lixiviados

ALFACE			
Tratamentos	G%	TMG	VMG
C1	98,5 ± 1,91 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,52 <sup>a</sup>	0,77 ± 0,03 <sup>a</sup>
C2	94,5 ± 3,79 <sup>a</sup>	2,21 ± 0,20 <sup>b</sup>	0,46 ± 0,04 <sup>b</sup>
L1	99,0 ± 2,00 <sup>a</sup>	2,03 ± 0,13 <sup>b</sup>	0,49 ± 0,03 <sup>b</sup>
L2	96,0 ± 2,83 <sup>a</sup>	2,35 ± 0,30 <sup>b</sup>	0,43 ± 0,06 <sup>b</sup>
L3	96,5 ± 2,52 <sup>a</sup>	2,26 ± 0,11 <sup>b</sup>	0,44 ± 0,03 <sup>b</sup>
L4	78,0 ± 4,32 <sup>b</sup>	2,47 ± 0,30 <sup>b</sup>	0,41 ± 0,05 <sup>b</sup>
ARROZ			
Tratamentos	G%	TMG	VMG
C1	99 ± 2	1,46 ± 0,18 <sup>a</sup>	0,69 ± 0,079 <sup>a</sup>
C2	99 ± 2	1,08 ± 0,08 <sup>b</sup>	0,93 ± 0,065 <sup>b</sup>

Realização



L1	100 ± 0	1,53 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,66 ± 0,026 <sup>ac</sup>
L2	100 ± 0	1,66 ± 0,28 <sup>ab</sup>	0,62 ± 0,11 <sup>ac</sup>
L3	97 ± 3,8	1,93 ± 0,20 <sup>ab</sup>	0,52 ± 0,06 <sup>dc</sup>
L4	99 ± 2	2,43 ± 0,41 <sup>c</sup>	0,42 ± 0,08 <sup>d</sup>

C1 (água); C2(solução ácida); L1 (Lixiviado do *topsoil*); L2 (Lixiviado do rejeito); L3 (Lixiviado do *topsoil* e rejeito); L4 (Lixiviado do *topsoil*, rejeito e cimento). Letras diferentes significam valores estatisticamente diferentes segundo ANOVA *one-way*, teste Tukey,  $P < 0,0001$ .

O tempo médio de germinação e a velocidade variaram entre os tratamentos (Tabela 1). As sementes da alface germinaram mais rápido na água e estatisticamente diferente dos outros tratamentos. No entanto, tiveram tempos germinação semelhantes entre os tratamentos L1, L2, L3 e L4 em relação ao controle 2, as quais as sementes foram irrigadas com solução de ácido acético (Tabela 1). As sementes do arroz tiveram tempos germinação semelhantes entre os tratamentos L1, L2 e L3 em relação aos controles, exceto para o L4 que apresentou um valor estatisticamente maior do que os demais (Tabela 1). As sementes de arroz germinaram mais rápido quando foram irrigadas com a solução ácido acético. Segundo, Wagner Júnior et al. (2007), o pH exerce influência direta em diversos processos de desenvolvimento de um vegetal, devido ao seu efeito na disponibilidade de nutrientes, ainda ressaltam que valores de pH menores que 3,0 e superiores a 8,0 tem sido descrito como inibidores do processo germinativo. Neste estudo foi observado que os pH levemente ácidos não afetou a germinação das sementes.

Observou-se uma inibição estatisticamente significativa na porcentagem de germinação das sementes da alface quando submetidas a irrigação com o lixiviado proveniente do composto NC contendo rejeito e cimento (L4). Esse efeito inibitório também foi constatado no tempo médio de germinação das sementes de arroz. Acredita-se que não foi um efeito do pH ácido, pois a solução de ácido acético que simulou a chuva ácida não afetou a germinabilidade das sementes de hortaliças. Essa inibição pode ser atribuída à presença do cimento no NC, tendo em vista que alguns autores relatam que altas quantidades de espécies iônicas são liberadas em lixiviados de materiais que utilizam o cimento, causando algum grau de toxicidade (MÄRKL & STEPHAN 2015; MÄRKL et al. 2017).

#### Realização



Estudos recentes realizados por Silva et al. (2022), relataram que a concentração de elementos potencialmente tóxicos, presentes no rejeito de minério de ferro, não ultrapassaram os níveis previstos pela legislação brasileira para valores de referência de qualidade (CONAMA 420/09). Essa observação corrobora os resultados obtidos no presente ensaio de fitotoxicidade, mesmo que estes elementos estejam presentes no lixiviado, suas concentrações não parecem ser prejudiciais para as sementes de hortaliças que foram submetidas ao teste.

## CONCLUSÕES

O lixiviado L4 (lixiviado do *topsoil*, rejeito e cimento), exerceu um efeito inibitório sobre a germinação das sementes de alface, assim como prolongou o tempo necessário para a germinação do arroz. No entanto, tal efeito não foi atribuído ao caráter ácido do meio, uma vez que a solução controle de ácido acético, não afetou a germinação das sementes de hortaliças. Acredita-se que a presença do cimento no composto pode ser responsável por essa inibição, devido à liberação de espécies iônicas que podem causar toxicidade.

Observou-se também que apesar da possível presença de elementos potencialmente tóxicos nos lixiviados das demais amostras, devido a presença do rejeito de minério de ferro, suas concentrações não parecem afetar adversamente as sementes de hortaliças que foram submetidas ao teste de germinação.

## AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro concedido pelo CEFET/MG.

## REFERÊNCIAS

BALESTRI, Elena et al. Phytotoxicity assessment of conventional and biodegradable plastic bags using seed germination test. **Ecological indicators**, v. 102, p. 569-580, 2019.

Realização





BEWLEY, J.D.; BLACK, M. Seeds: physiology of development and germination New York: **Plenum**, 1994. 445p.

BOŻYM, Marta. Assessment of phytotoxicity of leachates from landfilled waste and dust from foundry. **Ecotoxicology**, v. 29, n. 4, p. 429-443, 2020.

CANEPARI, S.; CARDARELLI, E.; GHIGHI, S.; SCIMONELI, L. Ultrasound and microwave-assisted extraction of metals from sediment: a comparison with the BCR procedure. **Talanta**, 2005, 66, p. 1122 – 1130

FARJANA, Shahjadi Hisan et al. A review on the impact of mining and mineral processing industries through life cycle assessment. **Journal of cleaner production**, v. 231, p. 1200-1217, 2019.

GENG, Huanhuan et al. Leaching behavior of metals from iron tailings under varying pH and low-molecular-weight organic acids. **Journal of hazardous materials**, v. 383, p. 121136, 2020.

LABOURIAU, L. G. & VALADARES, M. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 48: 174-186. 1976.

MÄRKL, Veronika; STEPHAN, Dietmar A. Release behaviour of major elements and superplasticiser from cement suspensions. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 1-14, 2016.

MÄRKL, Veronika; PFLUGMACHER, Stephan; STEPHAN, Dietmar A. Effect of leached cement paste samples with different superplasticiser content on germination and initial root growth of white mustard (*Sinapis alba*) and cress (*Lepidium sativum*). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, p. 1-11, 2017.

MARQUES, A. R. et al. Biological re-colonization of sub-aerial boundaries of an ‘artificial construction-niche’ contaminated by iron mine tailings: laboratory bioassays. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 14, p. 1-14, 2017.

OECD 208- Organisation for Economic Cooperation and Development- Terrestrial plant test: Seedling emergence and seedling growth test. **Guideline for testing of chemicals**. 2006.

QUEIROZ, Hermano M. et al. Manganese: The overlooked contaminant in the world largest mine tailings dam collapse. **Environment international**, v. 146, p. 106284, 2021.

SILVA, Ana Paula Valadares et al. Potentially toxic elements in iron mine tailings: Effects of reducing soil pH on available concentrations of toxic elements. **Environmental Research**, v. 215, p. 114321, 2022.

SCHAEFER, C.E.G.R. et al. The physical environment of rupestrian grasslands (Campos Rupestres) in Brazil: geological, geomorphological and pedological characteristics, and interplays. **In: Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil**. Springer, Cham, 2016. p. 15-53.

SKIRYCZ, A.; CASTILHO, A.; CHAPARRO, A.; CARVALHO, A.; TZOTZOS, G.; SIQUEIRA, J. O. **Canga biodiversity, a matter of mining**. *Frontiers in Plant Science*, 2014.

Realização



WAGNER JÚNIOR, Américo et al. Efeito do pH da água de embebição e do trincamento das sementes de maracujazeiro amarelo na germinação e desenvolvimento inicial. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1014-1019, 2007.

Realização

