

Uso de resíduos de mineração em associação com leguminosas herbáceas e composto de bio-resíduos para restauração de solos degradados

Use of mining residues in association with herbaceous legumes and bio-waste compost for recovery of degraded soils

Valéria Cristina Palmeira Zago*, Mayra Batista Gomes Brito & Ítalo Cordeiro e Lellis

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brasil
(*E-mail: valzagomg@gmail.com)
<https://doi.org/10.19084/rca.33908>

Recebido/received: 2023.07.31
Aceite/accepted: 2023.11.20

RESUMO

Na tentativa de aprimorar as tecnologias de recuperação do solo de baixo custo e para minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte de resíduos urbanos e industriais, a sociedade tem se empenhado no desenvolvimento de pesquisas que visam o aproveitamento dos resíduos, como restos de alimentos e resíduos de minas. Este estudo teve por objetivo avaliar o crescimento vegetativo da *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*, em diferentes proporções de resíduo de minas (mineração de ferro ou de beneficiamento de rochas ornamentais) e composto de bio-resíduos (folhas de verduras, cascas de legumes e frutas e, folhas secas de árvores). As proporções foram 100/0%, 75/25%, 50/50%, 25/75% e 0/100% de resíduos de mina ou do beneficiamento de rochas/composto de bio-resíduos, respectivamente. O desenvolvimento vegetativo de *Crotalaria juncea* foi favorecido nas proporções de 25/75%, 50/50% e 75/25% de resíduos do beneficiamento de rochas/composto de bio-resíduos respectivamente, para altura e diâmetro da planta e matéria fresca da parte aérea; enquanto para a *Canavalia ensiformis*, para os mesmos parâmetros, foi a dose 25/75% de resíduos de minas de ferro/composto de bio-resíduos. Entretanto, o uso exclusivo dos resíduos de minas que não se mostrou viável.

Palavras-chave: compostagem, *Fabaceae*, minérios, restauração de solos, resíduos.

ABSTRACT

To improve low-cost soil recovery technologies and to minimize the environmental impacts generated by the disposal of urban and industrial waste, society has been committed to developing research aimed at using waste, such as food waste and waste. minerals. This study aimed to evaluate the vegetative growth of *Crotalaria juncea* and *Canavalia ensiformis*, in different proportions of mining residue (iron mining or ornamental rock processing) and bio-waste compost (vegetable leaves, vegetable peels and fruits and dry tree leaves). The proportions were 100/0%, 75/25%, 50/50%, 25/75% and 0/100% mine waste or rock processing/bio-waste compost, respectively. The vegetative development of *Crotalaria juncea* was favored in the proportions of 25/75%, 50/50% and 75/25% of residues from rock processing/bio-waste compost respectively, for height and diameter of the plant and fresh matter of the part aerial; while for *Canavalia ensiformis*, for the same parameters, the dose was 25/75% iron mine waste/bio-waste compost. However, the exclusive use of mine waste has not proven viable.

Keywords: composting, *Fabaceae*, ores, soil recovery, tailings.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos é um dos danos socioambientais mais sérios que acometem a sociedade moderna. O acelerado processo de urbanização aliado ao constante aumento populacional nas últimas décadas resultou numa geração exagerada de resíduos, tornando-se um problema para as administrações públicas e um desafio para as sociedades (Onwosi *et al.*, 2016). Outro grande desafio é a degradação do solo, devido à significativa perda de matéria orgânica, nutrientes, biomassa e desestruturação física. Segundo a FAO (2015), 33% do território mundial está suscetível à desertificação ou apresenta algum estado de degradação do solo induzida por atividades antrópicas.

A ciência tem se empenhado na busca de alternativas para a resolução desses problemas. Entre as tecnologias amplamente empregadas nas etapas iniciais de projetos de restauração de solos está a utilização da adubação verde, especialmente quando se usa leguminosas. Estas espécies produzem grande quantidade de biomassa com baixa relação C/N, aumentam a matéria orgânica e atividade biológica no solo; além de realizarem a fixação biológica de nitrogênio - associação das raízes com as bactérias fixadoras de N (Franco *et al.*, 1992; Guarino *et al.*, 2016).

Na tentativa de reduzir os custos da restauração de solos e da minimização dos impactos ambientais negativos, gerados pelo descarte de resíduos urbanos e industriais, a pesquisa científica tem buscado indicar suas diversas possibilidades de reaproveitamento e reciclagem, a fim de fomentar a economia circular. A reciclagem de resíduos, como os restos de alimentos e os resíduos de minas, pode devolver ao solo, nutrientes, matéria orgânica, além de favorecer a sua estruturação física.

O uso do composto orgânico de bio-resíduos tem se mostrado bastante promissor para a restauração de solos (Kacprzak *et al.*, 2022; Hiranmai *et al.*, 2023; Malone *et al.*, 2023). No entanto, quanto aos resíduos oriundos dos processos de mineração são necessários mais estudos, pois há uma grande heterogeneidade, em função dos diferentes tipos e processos de exploração e beneficiamento. Como por exemplo, os resíduos liquefeitos e armazenados em barragens durante a extração mineral, que

são pobres em nutrientes e muitas vezes apresentam contaminantes (Zago *et al.*, 2019) ou os resíduos gerados durante o beneficiamento (polimento e limpeza) de rochas ornamentais (Campos *et al.*, 2014).

Assim, este estudo teve por objetivo avaliar o crescimento vegetativo de *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*, desenvolvendo-se em diferentes proporções de resíduos de minas de ferro ou resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais, associados a doses crescente de composto de bio-resíduos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, no período de agosto a novembro de 2018 (experimento 1) e Setembro a Dezembro de 2018 (experimento 2).

Coleta e caracterização dos resíduos de minas e do composto de bio-resíduos

Para o presente estudo foram usados dois tipos de resíduos da atividade extrativa de minas e um composto de bio-resíduos.

Resíduo de minas de ferro (RMF) – Obtido após o rompimento da barragem de contenção de resíduos, distrito de Bento Rodrigues, Mariana-MG, Brasil. Foi utilizada uma amostra composta, a partir de subamostras de uma pilha de resíduos depositada sobre o solo do local.

Resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (RRO) – Foram utilizados os resíduos de uma planta industrial de beneficiamento de rochas ornamentais, de Belo Horizonte-MG, Brasil. A planta processa em torno de 70% de rochas graníticas e 30% de ardósias. Uma amostra composta do RRO foi obtida a partir de subamostras coletadas em diferentes partes e profundidades do tanque de sedimentação. O RRO é resultante da água de refrigeração e pó, oriundos dos processos de corte e polimento das rochas. Não se utilizou qualquer outro aditivo que possa alterar a composição química do material.

Composto de Bio-resíduos (CB)– Obtido a partir da compostagem em leira estática com aeração passiva de resíduos alimentares (folhas e cascas de frutas e legumes), em combinação com resíduos de podas de árvores e gramados, do Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Os bio-resíduos não foram triturados, variando de 0,5 a 10 cm de largura.

Delineamento experimental

Foram realizados dois experimentos em vasos com duas espécies de leguminosas herbáceas anuais, recomendadas para adubação verde. No experimento 01 foram utilizadas sementes comerciais de *Crotalaria juncea*, RRO e CB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 5 tratamentos que consistiram em diferentes substratos, nas seguintes proporções decrescentes de RRO (100%, 75%, 50%, 25% e 0%) e proporções crescentes complementares de CB (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), respectivamente, com cinco repetições.

No experimento 02 foram utilizadas sementes comerciais de *Canavalia ensiformis*, RMF e CB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 5 tratamentos que consistiram em diferentes substratos, nas seguintes proporções decrescentes de RMF (100%, 75%, 50%, 25% e 0%) e proporções crescentes complementares de CB (0%,

25%, 50%, 75% e 100%), respectivamente, com quatro repetições.

Condução dos ensaios e parâmetros analisados

Os substratos foram dispostos em sacos pretos de polietileno de 11,5 cm de diâmetro e 15 cm de altura. Cinco sementes de *Crotalaria juncea* ou *Canavalia ensiformis* foram selecionadas manualmente, descartando-se aquelas que eventualmente apresentassem injúrias ou deformações. E, após 10 dias de incubação (à 25°C, sem insolação direta e 250 ml de água de torneira), procedeu-se a sementeira. Os sacos foram expostos a pleno sol e irrigados diariamente de segunda à sexta, utilizando-se o mesmo volume de água de torneira para cada tratamento (250 ml.dia⁻¹). Decorridos 7 dias após a emergência de todas as plântulas, foi realizado o desbaste, mantendo-se somente uma planta por vaso.

Os parâmetros de crescimento vegetativo da espécie foram obtidos ao final de 60 dias após a sementeira, através da medição do diâmetro médio dos caules e da altura da planta a partir do “colo” da parte aérea (Figura 1). Foram avaliadas também a matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), obtidas após secagem em estufa com ventilação de ar forçado, até massa constante a 65°C.



(a)



(b)

Figura 1 - *Crotalaria juncea* (a) e *Canavalia ensiformis* (b).

Análise de dados

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância para matéria seca da parte aérea e de matéria fresca da parte aérea, em função das doses dos resíduos de minas e de composto aplicadas. As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$) utilizando o programa estatístico Sisvar® para Windows (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os resíduos de minas apresentaram baixos teores de nutrientes (macro e micro) e baixa capacidade de troca catiônica total – CTC total ($0,41 \times 10^6,67 \text{ g.dm}^{-3}$) para RMF e RRO, respectivamente, em comparação aos observados no composto de bio-resíduos ($32,6 \text{ g.dm}^{-3}$); além de pH elevado para os três materiais (Quadro 1). Silva Cruz *et al.* (2020) encontraram valores similares, em resíduos de minas de ferro da mesma origem.

Quadro 1 - Composição química dos resíduos (mina de ferro - RMF), (beneficiamento de rochas ornamentais - RRO) e (composto de bio-resíduos - CB) utilizados nos experimentos

Parâmetro	RMF	RRO	CB
	-----g.dm ⁻³ -----		
N	0,6	0,7	9,3
P ₂ O ₄	0,002	0,003	8,0
K	0,070	0,168	1,70
Ca	0,290	0,35	28,60
Mg	0,015	0,059	2,30
S	nd	nd	0,90
B	nd	nd	0,07
Co	nd	nd	0,02
Cu	0,001	0,028	0,10
Fe	0,125	0,232	22,06
Mn	0,117	0,031	0,25
Na	0,040	0,092	-
Zn	0,021	0,007	0,10
Mat. Org.	10,60	12,70	267,00
pH em água	7,0	8,7	7,8

A maioria dos nutrientes presentes no composto de bio-resíduos (com exceção do N, K, S) estavam com teores acima dos exigidos para o bom desenvolvimento das plantas (Ronquim, 2010). Em relação à

granulometria dos resíduos de minas observou-se as seguintes percentagens: areia total – 36,64 e 64,13; silte – 60,58 e 27,7; argila – 2,79 e 8,17 para RRO e RMF, respectivamente. A granulometria do RMF possui teores elevados de areia e silte, o que confere baixa estruturação ao material e baixa CTC total. As percentagens de silte maiores que 20% podem dificultar o estabelecimento das plantas. A infiltração da água no material é rápida e quando se faz a irrigação, pode ocorrer a formação de uma crosta na superfície ocasionando direcionamento da água e erosão (Dias *et al.*, 2006). Os tratamentos com 100% de RRO e RMF apresentaram comportamento idêntico ao relatado por aqueles autores.

O desenvolvimento vegetativo de *Crotalaria juncea* foi favorecido nas proporções de 25/75%, 50/50% e 75/25% de RRO/CB, respectivamente, para altura, diâmetro da planta e MFPA. Os resultados obtidos de produção de MFPA e MSPA de *C. juncea* demonstraram que não houve diferença estatística entre os tratamentos com doses crescentes de CB (Quadro 2), observando-se que até mesmo as doses mais baixas já possibilitaram um desenvolvimento positivo às plantas, quando comparados àquele com 100% RRO. A MFPA da *C. juncea* aos 60 dias, nas doses com CB foram equivalentes ao potencial comercial da espécie, que é de $19,7 \text{ t.ha}^{-1}$, aos 150 dias (EMBRAPA, 2000).

Não foram encontrados muitos estudos sobre a utilização de RRO na agricultura. Porém, Oliveira *et al.* (2009) observaram que a utilização RRO elevou o

Quadro 2 - Altura, diâmetro, Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de *Crotalaria juncea* submetidas a diferentes doses de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais (RRO) associados a composto de bio-resíduos (CB) em doses complementares

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	MFPA (g)	MSPA (g)
100%RRO-0%BC	16,30 b	1,04 b	1,328 b	0,116 b
75% RRO -25% BC	56,4 a	2,86 a	5,710 a	0,610 ab
50% RRO -50% BC	64,63 a	3,00 a	8,170 a	0,868 a
25% RRO -75% BC	53,20 a	3,18 a	5,932 a	0,796 a
0% RRO -100% BC	54,00 a	2,68 a	6,438 a	0,648 ab

* Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente, onde $P < 0,05$, pelo teste de Tukey

pH do solo, porém quando associados à composto orgânico também elevaram os teores de nutrientes. Por sua vez, Raklami *et al.* (2022) verificaram bom desenvolvimento de alfafa, testando o uso de resíduos de mármore, composto de bio-resíduos e microrganismos benéficos.

Entretanto, para a *Canavalia ensiformes* para os mesmos parâmetros a melhor dose foi 25/75% de RMF/CB (Quadro 3). O desenvolvimento dessa espécie pode ter sido comprometido pelas características físico-químicas do RMF, com elevado teor de areia e baixa CTC total. A produtividade de matéria fresca da *C. ensiformes* aos 60 dias, foi menor que 1/3 da produtividade obtida comercialmente que é de

Quadro 3 - Altura, Diâmetro, Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de *Canavalia ensiformis* submetidas a diferentes doses de resíduos de mina de ferro (RMF) associados a composto de bio-resíduos (CB) em doses complementares

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	MFPA (g)	MSPA (g)
100%RMF-0%CB	41,13 b	3,55 a	20,01 c	4,83 b
75% RMF -25%CB	64,25 ab	4,02 a	25,51 bc	5,54 ab
50% RMF -50%CB	77,50 ab	4,80 a	39,10 b	10,07 a
25% RMF -75%CB	82,25 a	5,11 a	49,57 a	10,90 a
0% RMF -100%CB	88,00 a	5,43 a	44,30 ab	9,77 ab

*Medias seguidas por letras iguais não diferem significativamente, onde $P < 0,05$, pelo teste de Tukey

22,7 t.ha⁻¹, aos 150 dias (Rodrigues *et al.*, 2004). Freitas *et al.* (2023) utilizando os mesmos RMF deste estudo (oriundos do rompimento da barragem do Fundão-Mariana/MG, Brasil), observaram que quanto maior a sua concentração no substrato, mais prejudicial foi ao crescimento de *Mucuna pruriens*. Porém a adição de fertilizantes promoveu o crescimento das plantas; similarmente ao observado neste estudo, no qual o uso exclusivo dos resíduos de minas em ambas as espécies não se mostrou viável.

CONCLUSÕES

No estudo em vasos, a associação dos resíduos de minas e composto orgânico de bio-resíduos mostrou-se promissor para o cultivo das leguminosas herbáceas testadas, especialmente os resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais para a *Crotalaria juncea*. Já para a *Canavalia ensiformes*, deve-se dar continuidade aos estudos para verificar a interferência de algum contaminante presente no resíduo de minas de ferro e testar outras composições de substratos, como por exemplo, a utilização de fertilizantes organo-minerais. Estudos a campo também são necessários para verificar a sua eficiência nas condições ambientais naturais. Ademais, cabe destacar a importância da análise química dos resíduos, anteriormente a sua utilização em projetos de recuperação de solos, para evitar a adição de possíveis poluentes. A possibilidade de utilização desses resíduos para restauração de solos degradados, contribuirá para reduzir os seus impactos ambientais negativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campos, A.R.; Ribeiro, R.C.C.; Castro, N.F.; Azevedo, H.C.A. & Cattabriga, L. (2014) - Resíduos: tratamento e aplicações industriais. In: Vidal, F.W.H.; Azevedo, H.C.A. & Castro, N.F. (Eds.). - *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 431-492.
- Dias G.P.; Fontes M.P.F.; Costa L.M. & Barros N.F. (2006) - Caracterização química, física e mineralógica de estéreis de rejeito da mineração de ferro da mina de Alegria, Mariana- MG. *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 36, n. 1, p. 45-52.
- EMBRAPA (2000) - *Crotalaria juncea L. e Crotalaria spectabilis Roth: leguminosas para adubação verde do solo e alimentação animal*.
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/854718/crotalaria-juncea-l-e-crotalaria-spectabilis-roth-leguminosas-para-adubacao-verde-do-solo-e-alimentacao-animal>

- FAO (2015) - *Status of the World's Soil Resources*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [cit. 2023.04.20] <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>
- Ferreira, D.F. (2014) - Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 38, n. 2, p. 109-112. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>
- Franco, A.A.; Campello, E.F.; Silva, E.D. & Faria, S.D. (1992) - *Revegetação de solos degradados*, vol. 9, p. 11. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPBS.
- Freitas, J.C.E.; de Resende, C.F.; de Paula P. M.; Frattini, L.M.; Reis, P.R.C.; Miranda, J.B.; Silva, J.C.J.; César, D.E.; Nery, F.C. & Peixoto, P.H.P. (2023) - Assessing the ecophysiological effects of iron mining tailings on velvet bean: implications for growth limitations based on mineral composition and physicochemical properties of tailings-soil substrates. *Brazilian Journal of Botany*, vol. 46, n. 3, p. 715-729. <https://doi.org/10.1007/s40415-023-00911-x>
- Guarino, E.S.G.; Souza, L.P. de; Miura, A.K.; Gomes, G.C. & Lucas, T.C.R. (2016) - *As leguminosas na recuperação de áreas degradadas do bioma Pampa*. Pelotas: EMBRAPA, Clima Temperado. [2023.04.23] <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1041920/1/AsleguminosasnarecuperacaodeareasdegradadasdobiomaPampa.pdf>
- Hiranmai, R.Y.; Neeraj, A. & Vats, P. (2023) - Improvement of soil health and crop production through utilization of organic wastes: A sustainable approach. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, vol. 13, n. 1, p. 1-15. <https://dx.doi.org/10.57647/ijrowa.2024.1301.01>
- Kacprzak, M.; Kupich, I.; Jasinska, A. & Fijalkowski, K. (2022) - Bio-based waste' substrates for degraded soil improvement – Advantages and challenges in European context. *Energies*, vol. 15, n. 1), art. 385. <https://doi.org/10.3390/en15010385>
- Malone, Z.; Berhe, A.A. & Ryals, R. (2023) - Impacts of organic matter amendments on urban soil carbon and soil quality: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, vol. 419, art. 138148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138148>
- Oliveira, C.N.; Queiróz, J.P.C. & Ribeiro, R.C.C. (2009) - Efeito da Fertilização do Solo com Resíduos de Rochas Ornamentais na Qualidade do Biodiesel Extraído. *XVII Jornada de Iniciação Científica–CETEM*.
- Onwosi, C O.; Igbokwe, V.C.; Odimba, J.N.; Eke, I.E.; Nwankwoala, M.O.; Iroh, I.N. & Ezeogu, L.I. (2016) - *Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects*. Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria.
- Raklami, A.; Meddich, A.; Pajuelo, E.; Marschner, B.; Heinze, S. & Oufdou, K. (2022) - Combined application of marble waste and beneficial microorganisms: Toward a cost-effective approach for restoration of heavy metals contaminated sites. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, n. 30, p. 45683-45697. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19149-3>
- Rodrigues, J.E.L.F.; Alves, R.N.B; Lopes, O.M.N.; Teixeira, R.N.G. & Rosa, E.S.A. (2004) - *Importância do feijão de porco (Canavalia ensiformis DC.) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no Município de Ponta-dePedras/Marajó-PA*. Embrapa. 4p.
- Ronquim, C.C. (2010). *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 30p.
- Silva Cruz, F.V.; Gomes, M.P.; Bicalho, E.M.; Della Torre, F. & Garcia, Q.S. (2020) - Does Samarco's spilled mud impair the growth of native trees of the Atlantic Rainforest? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 189, art. 110021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110021>
- Zago, V.C.P.; das Dores, N.C. & Watts, B.A. (2019) - Strategy for phytomanagement in an area affected by iron ore dam rupture: A study case in Minas Gerais State, Brazil. *Environmental Pollution*, vol. 249, p. 1029-1037. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.060>