CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E O TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM CAMPO RUPESTRE QUARTZÍTICO EM RESTAURAÇÃO

Autores: Thalia dos Anjos[1], Vinicius de Souza Monteiro[1], Eduarda Salgado de Melo[1], Irislene da Silva Lima[1], Jaziel Rocha Almeida[1], Múcio Mágno de Melo Farnezi[2], Israel Marinho Pereira[2].

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro - 29550-000 - Jerônimo Monteiro-ES, Brasil, anjosthalia198@outlook.com, viniciusmonteiro.15@hotmail.com, eduarda.s.melo@edu.ufes.br, irislenelimaef@gmail.com, jazielrocha@gmail.com.
[2]Universidade Federal dos Vales dos Jequitinhonha e Mucuri/Departamento de Engenharia Florestal, Campus JK, Rodovia MGT 367, Km 583, 5000, Alto da Jacuba, Diamantina, 39100-000, Diamantina-MG, Brasil, mucio.farnezi@ufvjm.edu.br, israel@ufvjm.edu.br.

Resumo
A restauração de áreas degradadas é fundamental para a recuperação das propriedades do solo e o restabelecimento das funções ecossistêmicas. Objetivou-se avaliar a composição granulométrica e o teor de matéria orgânica do solo em uma área em processo de restauração, comparando-os com dados do ecossistema de referência, em áreas de Campo Rupestre Quartzítico (CRQ). Para tal, realizou-se a avaliação dos teores de areia, silte, argila e matéria orgânica do solo (MO) nos dois ambientes (restauração x referência). A área em restauração (AR) apresentou diferenças significativas com menores teores de argila e MO em relação ao a referência (ER). As diferenças observadas indicam que as características edáficas da AR ainda se encontram distintas das condições do ER. O menor teor de MO sugere que o processo de recuperação dos estoques de carbono e da qualidade do solo encontra-se em desenvolvimento. O tecnossolo presente na área em restauração apresenta alterações incipientes nos atributos analisados em relação ao solo da referência.

Palavras-chave: Recuperação. Tecnossolo. Características edáficas. Mineração.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias / Engenharia Florestal.

Introdução

As atividades mineradoras de grande porte resultam em alterações significativas no solo e na cobertura vegetal, o que torna necessário a adoção de estratégias eficientes para a recuperação de áreas degradadas pelas operações. Os campos rupestres (CR) quartzíticos, devido à sua litologia, composta, em sua maioria, por quartzitos puros associados a afloramentos rochosos, estão constantemente em foco de interesse e extração da indústria de mineração (Sano *et al*., 2008; Messias *et al*., 2012).

Formado por mosaicos de vegetação associados à afloramentos rochosos, a fitofisionomia rupestre apresenta características ímpares a formação e suporte de espécies endêmicas (Fernandes *et al*., 2016). Apesar de corresponder a um ecossistema singular, há poucos estudos voltados a problemática do uso e exploração do ambiente rupestre. Dentro do contexto da fitofisionomia dos CR e a exploração dos recursos pela mineração, é de suma importância o levantamento de dados, tais como variáveis físico-químicas dos solos, que impliquem na melhoria e disposição de práticas de manejo para a restauração ecológica.

Em concordância, a avaliação dos parâmetros do solo, como granulométricos e de matéria orgânica, constitui um processo fundamental para a avaliação de áreas em restauração e na verificação dos impactos da atividade degradadora (Pond *et al*., 2014). Logo, o presente trabalho tem por objetivo avaliar atributos granulométricos e o teor de matéria orgânica do solo em uma área em processo de restauração, comparando-os com dados do ecossistema de referência, em áreas de Campo Rupestre Quartzítico (CRQ) na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Gouveia, Minas Gerais.

Metodologia

A pesquisa foi conduzida em áreas de Campo Rupestre Quartzítico degradada em processo de restauração ecológica (AR) e em áreas não degradadas circunvizinha (Ecossistemas de Referência (ER)) na região da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Minas Gerais. As áreas de estudo situam-se nas coordenadas geográficas 18° 31' 09.44"S, 43° 53' 04.66"W, a 1.248 m de altitude, no município de Gouveia, Minas Gerais, e corresponde a uma pilha de rejeitos da Empresa GSM *Group*, que tem como principal atividade a extração de rochas ornamentais de quartzito. A AR tem cerca de 2 hectares e teve início o processo de restauração no ano de 2016 com o uso de gramíneas nativas dos campos rupestres. Os substratos expostos pela mineração na AR é caracteristicamente um tecnossolo (IUSS, 2015).

Para a coleta dos dados de interesse, foram plotadas parcelas aleatórias. Na área em restauração e ecossistema de referência foram plotadas no total 20 parcelas de 10 m x 10 m (100 m^2) para amostragem do solo, ou seja, 10 (dez) parcelas por ambiente. Posteriormente, para o registro dos atributos físicos do solo foram coletadas próximo aos vértices e no centro das parcelas cinco amostras simples, com a finalidade de formar uma amostra composta deformada com 1000 cm^3 de solo nas profundidades de 0 a 10 cm. As amostras simples foram coletadas com auxílio de um trado tipo sonda. Essas coletas foram utilizadas para caracterização física dos ambientes estudados.

Em vista disso, para a caracterização das frações granulométricas, as amostras foram coletadas e separadas em frações grosseiras (partículas maiores que 200 mm, 20 partículas de 20-200 mm, partículas de 2,0-20 mm de diâmetro) e frações finas (partículas menores que 2,00 mm de diâmetro) (Santos *et al*., 2013). A partir disso, avaliou-se os atributos físicos: granulometria (% de areia total, % de silte e % de argila) (Embrapa, 1997; Santos *et al*., 2013; Teixeira *et al*., 2017).

Além disso, fez-se a análise dos teores de matéria orgânica (MO), para tal analisou-se as frações finas das amostras coletadas (partículas < 0,2 cm de diâmetro), nas quais foram homogeneizadas, secas ao ar e encaminhadas para análise em Laboratório de Caracterização de Solos e Substratos. Posteriormente, determinou-se a MO, por meio do cálculo de oxidação do carbono orgânico total (COT) por via úmida, com utilização de dicromato de potássio em meio ácido, com multiplicação do resultado pelo fator de conversão 1,724, segundo o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (Teixeira *et al*., 2017).

Fez-se uso do software Excel® para tabulação dos dados. Posteriormente, realizou-se o procedimento no software R (R Core Team 2026), com o auxílio dos pacotes: "*vegan*" (Oksanen *et al*., 2025), "*ggplot2*" (Wickham, 2016) e "*dplyr*" (Wickham *et al*., 2013) para a análise descritiva por box-plot. Além disso, mediu-se a correlação linear entre os conjuntos de dados das variáveis de interesse (pH e CE), por meio dos dados ambientes analisados com o uso do teste de Mann–Whitney (0,05 de significância) no software Past 4.17 (*PAleontological STatistics*).

Resultados

O tecnossolo e o solo das áreas estudadas apresentaram elevada proporção de areia total (> 77%) (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios (Med.) e erro padrão (Se) dos atributos físicos e matéria orgânica dos tecnossolos e do solo de duas áreas estudadas: habitat em restauração (AR) e ecossistema de referência (ER) de campo rupestre quartzítico, em área de extração de rochas ornamentais, em Gouveia, Minas Gerais.

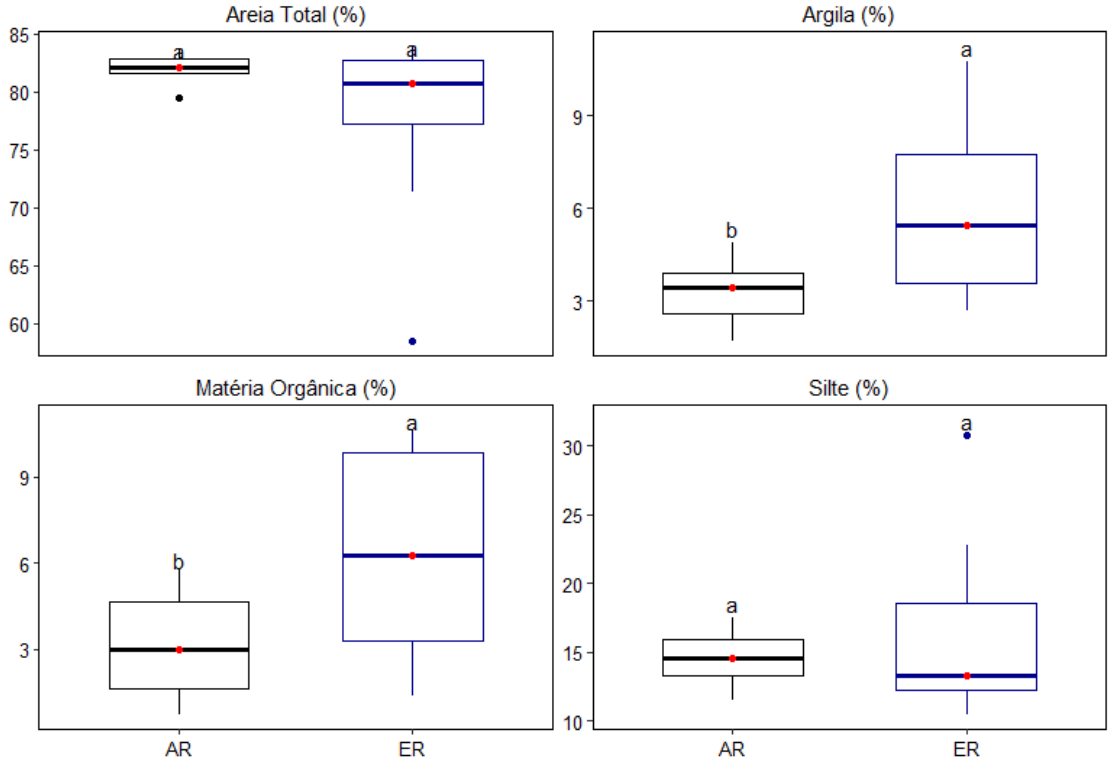
Ambiente	**AR**		**ER**		**p-valor**
Variável	Med.	Se	Med.	Se	
AT (%)	82,13	± 0,3758	77,84	± 2,4667	0,1903^{ns}
Argila (%)	3,34	± 0,32 10	5,88	± 0,8750	0,0244*
Silte (%)	14,52	± 0,5812	16,28	± 2,0154	0,8534^{ns}
MO (%)	3,12	± 0,5736	6,31	± 1,1534	0,0433*

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2026. Onde lê-se: AT = Areia Total; MO = Matéria Orgânica; Med. = Média; Se = erro padrão; ns = não significativo; nível de significância (*0,05); AR = Área em restauração; ER = Ecossistema de referência.

Os atributos do solo apresentaram comportamentos distintos entre os componentes analisados. O teor de argila foi superior no ecossistema de referência em comparação à área em restauração (5,88% e 3,34%, respectivamente; p = 0,0244). Bem como, o teor de MO foi superior no ER em comparação à restauração (6,31% e 3,12%, respectivamente; p = 0,0433).

Observou-se também uma maior variabilidade dos dados no ecossistema de referência em comparação a AR (3,12%). Argila e matéria orgânica, do ecossistema de referência diferiram significativamente (p > 0,05) dos componentes do tecnossolo encontrado na área em restauração (Figura 1). Os dados de areia total e silte não apresentam diferenças significativas (p > 0,05).

Figura 1 – Box-plots representativos dos atributos físicos e matéria orgânica dos tecnossolos e do solo de duas áreas estudadas: habitat em restauração (AR) e ecossistema de referência (ER) de campo rupestre quartzítico, em área de extração de rochas ornamentais, em Gouveia, Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2026. Onde lê-se: AR = Área em restauração; ER = Ecossistema de referência.

Discussão

Os gráficos de box-plot permitem observar diferenças na distribuição dos atributos físicos e da matéria orgânica dos ambientes em restauração e referência, com diferenças estatísticas entre o teor de argila e matéria orgânica nos dois ecossistemas em estudos. O AR apresenta uma distribuição com menor amplitude, o que pode evidenciar que os dados das variáveis analisadas são relativamente mais concentrados em comparação ao ER (Figura 1). O fato do ER apresentar uma maior heterogeneidade aparente dos dados, sem a análise individual das medianas, reforça o fato de que os ambientes rupestres por serem formados por um rico mosaico de habitats (Conceição; Pirani, 2005) pode influenciar na dispersão dos dados dos ambientes naturais.

A proporção maior de areia (≈ 82% e ≈ 78% para AR e ER, respectivamente) nas áreas em estudo (Tabela 1) pode estar relacionada às características do material de origem, no caso do ecossistema natural (Giulietti *et al*., 2000; Longo *et al*., 2011), e processo de degradação (restauração) que alteram a estrutura superficial do solo. Outrossim, a menor proporção de argila na AR pode estar associada à perda ou redistribuição das partículas finas durante os processos de degradação com possível perda

das partículas finas, bem como às características do substrato ou do material utilizado na recuperação (Solé *et al*., 2023; Amaral, 2019).

Além disso, do ponto de vista da restauração, a diferença significativa ($p < 0,05$) entre os teores de MO do tecnossolo e solo em estudo pode vir a refletir a trajetória granulométrica da AR em comparação à ER. O fato de AR possuir o menor teor pode demonstrar uma menor estabilidade de agregados, já que a fração argila possui funções voltadas à retenção de água, agregação do solo e formação de sítios de troca (Costa *et al*., 2004). Concomitantemente, a maior presença de argila e MO no ER em relação ao AR, pode demonstrar a influência direta dos processos de degradação sobre o solo. Ao passo que, a não diferenciação estatística ($p > 0,05$) das propriedades AT e Silte demonstram um avanço positivo das características físicas em direção aos parâmetros naturais do solo.

A menor concentração de matéria orgânica na AR sugere que, apesar do processo de restauração, o solo ainda não apresenta condições semelhantes às encontradas na referência. Isso pode indicar que a recuperação dos estoques de matéria orgânica é um processo mais lento, dependente de outros fatores, como a produção e incorporação contínua de serapilheira, desenvolvimento da vegetação, atividade microbiana e formação de matéria orgânica estabilizada no solo, importante para o processo de ciclagem e restauração e manutenção do ambiente degradado (Souza; Davide, 2001; Souto, 2006).

Esse conjunto de propriedades analisadas no presente estudo pode indicar que a recuperação da cobertura vegetal não necessariamente implica na recuperação simultânea das propriedades edáficas. Mesmo após a implantação de práticas de restauração, as características do solo podem permanecer distintas das condições de referência, uma vez que processos como acumulação de matéria orgânica, agregação, ciclagem de nutrientes e reorganização das partículas ocorrem em escalas temporais longas (Souto, 2006; Moraes, *et al.*, 2008).

É importante salientar ainda, que os parâmetros físicos do tecnossolo, bem como a matéria orgânica, por se tratar de dados abióticos, são dados complementares de análise, mas não correspondem aos únicos indicadores para a determinação da eficiência da restauração, apesar de serem aliados à verificação da qualidade do solo e ao monitoramento para a tomada de decisões no processo de restauração ecológica.

Conclusão

O tecnossolo presente na área em restauração apresenta alterações incipientes nos atributos analisados. Em uma síntese ecológica, os dados sugerem um gradiente de diferenciação edáfica entre a área em restauração e o ecossistema de referência.

Referências

AMARAL, C. S. **Estratégias de restauração ecológica em pilha de rejeito de quartzito em ambiente rupestre**. 2019, 93 f. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal), UFVJM, Diamantina, 2019.

CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R. **Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina**: substratos, composição florística e aspectos estruturais. Departamento de Botânica, USP, v. 23, p. 85-111, 2005. Doi: 10.11606/issn.2316- 9052.v23i1p85-111

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBURQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto. **Ciência do solo**, v. 34, n. 1, 2004. Doi: 10.1590/S0103-84782004000100045

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª Edição, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 212 p., 1997.

FERNANDES, G. W. The Shady Future of the Rupestrian Grassland: Major Threats to Conservation and Challenges in the Anthropocene. In: FERNANDES, G. (eds) Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil. **Springer**, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-29808-5_23

IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps., **World Soil Resources Reports**, n. 106. FAO, Rome.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. De. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: Biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. Solo e Nutrição de Plantas, **Bragantia**, v. 70, p. 132 - 138, 2011. DOI: 10.1590/S0006-87052011000100019

MESSIAS, M. C. T. B.; LEITE, M. G. P.; MEIRA-NETO, J. A. A.; KOZOVITS, A. R. Fitossociologia de campos rupestre quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 26, p. 230-242, 2012. DOI: 10.1590/S0102-33062012000100022

MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Características do solo na restauração de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 2, p. 193-206, 2008. DOI: 10.5902/19805098457

OKSANEN, J. *et al*. **Vegan**: Community Ecology Package (R package version 2.7-1), 2025. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

POND, G. J.; PASSMORE, M. E.; POINTON, N. D.; FELBINGER, J. K.; WALKER, C. A.; KROCK, K. J. G.; FULTON, J. B.; NASH, W. L. Long-term impacts on macroinvertebrates downstream of reclaimed mountaintop mining valley fills in Central Appalachia. Environmental Management, v. 54, n. 4; p. 919–933, 2014. DOI: 10.1007/s00267-014-0319-6

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado** - Ecologia e Flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, v. 1, p. 279, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, J. T. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 353 p., 2013.

SOLÉ, P.; FERRER, D.; RAYA, I.; POUS, M.; GONZALEZ, R.; MARAÑÓN-JIMÉNEZ, S.; ALCAÑIZ, J. M.; CARABASSA, V. Physical and Chemical Properties of Limestone Quarry Tecnossolos Used in the Restoration of Mediterranean Habitats. **Land**, v. 12, n. 9, 1730, 2023. DOI: 10.3390/land12091730.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006, 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, 2006.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **CERNE**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 101-113, 2001.

TEIXEIRA, P. C.; NAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E), p. 574, 2017.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K.; VAUGHAN, D. **Dplyr**: A Grammar of Data Manipulation (R package version 1.1.4), 2023. Disponível em: <https://CRAN.Rproject.org/package=dplyr>.

WICKHAM, H. **Ggplot2**: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer, Verlag New York, 2016.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.