



# ANÁLISE DE SOLO ANTROPOGÊNICO COMO MEIO DE COMPREENSÃO DE ALTERAÇÕES NO SOLO E NO RELEVO: UM ESTUDO DE CASO

Cecília Félix Andrade Silva<sup>1</sup>  
Geovana Maria Freitas de Paula<sup>2</sup>  
Rafael Cardoso Teixeira<sup>3</sup>  
Lucas Souza Azevedo<sup>4</sup>  
Jairo Rodrigues Silva<sup>5</sup>

## RESUMO

No século XX, a atividade de mineração de ferro em Minas Gerais experimentou um crescimento significativo, superando a tradicional mineração aurífera e tornando-se elemento vital para a economia regional. Um exemplo emblemático dessas características foi observado em Itabira, cidade do estado de Minas Gerais, onde as transformações decorrentes da mineração se tornaram evidentes. Esse trabalho propôs analisar impactos antropogênicos na paisagem, combinando avaliações laboratoriais de solos com diagnóstico da alteração da geomorfologia fluvial local. Realizado a análise da morfologia do perfil do solo e laboratorial das amostras delineia um panorama multifacetado das propriedades e características do solo examinado, conferem ao estudo uma perspectiva holística e substancial, valiosa para a compreensão da dinâmica e potencialidades do solo antrópico em questão. O estudo dos impactos dessa atividade revela-se fundamental para compreender os desafios ambientais e socioeconômicos associados. A investigação dos solos antropogênicos desempenha uma análise de perspectiva pedológica da ação humana neste contexto, permitindo uma compreensão mais aprofundada de como as ações humanas afetam a formação, a manipulação e a contaminação do solo. Essa perspectiva é essencial para avaliar a sustentabilidade da atividade mineradora. O termo "Antropoceno" destaca a influência humana no meio ambiente, sublinhando a interação complexa entre as ações humanas e os ecossistemas e fornecendo insights valiosos sobre os efeitos resultantes. Compreender os impactos da mineração mostra-se crucial para o planejamento sustentável e a preservação, abordando conflitos e propondo estratégias de recuperação. Para trabalhos futuros, sugere-se direcionar o foco para aspectos pedológicos relacionados a essa temática.

**Palavras-chave:** Antropogeomorfologia, Solo Antropogênico, Quadrilátero Ferrífero.

---

<sup>1</sup> Professora Doutora do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, [cecilia.andrade@ifmg.edu.br](mailto:cecilia.andrade@ifmg.edu.br);

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, [geovanamariaf@gmail.com](mailto:geovanamariaf@gmail.com);

<sup>3</sup> Professor do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG campus de Teófilo Otoni, [teixeirarcgeo@gmail.com](mailto:teixeirarcgeo@gmail.com);

<sup>4</sup> Mestrando do Curso de Geografia na Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, [lucazevedo15@yahoo.com.br](mailto:lucazevedo15@yahoo.com.br);

<sup>5</sup> Professor Doutor do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, [jairo.rodrigues@ifmg.edu.br](mailto:jairo.rodrigues@ifmg.edu.br);



## INTRODUÇÃO

A partir do século XX a mineração de ferro em Minas Gerais experimentou um crescimento significativo após o hiato causado pelo esgotamento do ouro, tornando-se uma atividade econômica de extrema importância para o Estado e o país. A região do Quadrilátero Ferrífero (QF), rica em reservas de minério de ferro, atraiu grandes empresas nacionais e internacionais interessadas na exploração e exportação do minério (Roeser e Roeser, 2010).

Esse processo impulsionou o desenvolvimento de cidades mineradoras, bem como o investimento em infraestrutura logística para facilitar o transporte e escoamento do minério de ferro extraído. Esse processo também suscitou preocupações ambientais e sociais, devido aos impactos negativos da atividade nas comunidades locais, na biodiversidade e nos ecossistemas (Rezende, 2016). Diante desta perspectiva, Rehbein e Ross (2010) salientam que os homens não criam regras, formas e instituições para não cair no estado da natureza, mas desenvolvendo sua própria natureza, em função de estímulos advindos do ambiente natural, daí a importância de se criar um equilíbrio entre ambos.

Dessa maneira, entender os impactos antrópicos sobre o solo associado ao relevo em decorrência da ação minerária é de extrema relevância para compreender os desafios ambientais e socioeconômicos enfrentados na região central de Minas Gerais. O estudo se mostra relevante ao tratar sobre um tema que está atrelado ao meio ambiente, equilíbrio e impacto ecológico e ambiental, especificamente sobre o solo, causados pela ação minerária.

Ao longo do tempo, a alteração do equilíbrio ecológico ocasionada pela atividade minerária começou a se configurar como uma preocupação crescente entre diversos pesquisadores, como salienta Silva (2012). O impacto ambiental resultante desse processo tem suscitado uma atenção cada vez maior devido às possíveis repercussões sobre os ecossistemas locais e globais.

A necessidade de compreender e abordar essas mudanças torna-se premente, exigindo uma análise aprofundada dos efeitos a longo prazo sobre a biodiversidade, os recursos naturais e a qualidade geral do ambiente. Conforme destacado por Bitar (1997), a atividade mineradora é responsável por desencadear uma variedade de efeitos



indesejados, sendo os impactos de notável relevância: alterações ambientais, conflitos na utilização do solo, depreciação de propriedades circunvizinhas, formação de áreas degradadas, alterações no solo e relevo (Taroli e Sofia, 2016; Andrade e Valadão, 2016) e perturbações no tráfego urbano.

A reconfiguração recente do relevo e da cobertura superficial devido à atividade mineradora introduz novas dinâmicas erosivas, tornando imperativa a investigação dos riscos geotécnicos associados à exploração mineral (Taroli e Sofia, 2016). Isso inclui uma atenção especial aos movimentos de massa, evidenciados pelo trágico rompimento da barragem de Fundão em Mariana.

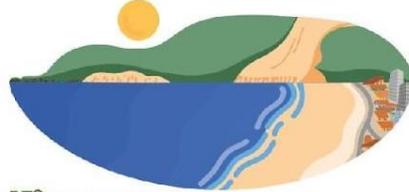
Nesse contexto, o objetivo do trabalho consiste em analisar os impactos antropogênicos na paisagem da área de estudo em conjunto à análise laboratorial de amostras de solo coletadas. Da mesma forma, compreender os impactos da mineração é crucial para o planejamento adequado do uso do solo, o (re)ordenamento territorial e o desenvolvimento de políticas públicas que promovam não somente a preservação ambiental, mas também o desenvolvimento socioeconômico da região. Por fim, o processo de recuperação ambiental a ser pensado para cenários futuros em que a reserva de minério de ferro se esgote e a reabilitação das áreas degradadas seja posta como prioridade, buscando restaurar a biodiversidade, a estabilidade e qualidade do solo cada vez mais antropizado (Teixeira et al., 2022).

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

Segundo Silva e Valadão (2016), Itabira-MG está localizada a NE do Quadrilátero Ferrífero (QF), sendo esta uma unidade geológica que engloba extensão aproximada de 7.000 km<sup>2</sup>, com vértices em Belo Horizonte, Santa Bárbara, Mariana e Congonhas do Campo, estando no limite meridional do Cráton do São Francisco.

A vegetação original predominante no município de Itabira é a Mata Atlântica, onde parte do município está situada na faixa de transição entre o domínio vegetal Atlântico e o Cerrado, sendo este encontrado mais na porção oeste, nas encostas da Serra do Espinhaço, fora da área de estudo. A cobertura vegetal atualmente presente próxima ao ribeirão Jirau, local onde foi realizado a coleta do perfil de solo antropogênico ou



## 15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

tecnossolo (Schaefer et al., 2017), conta com a presença de plantas rasteiras, árvores com galhos mais finos e secos (Figura 1).

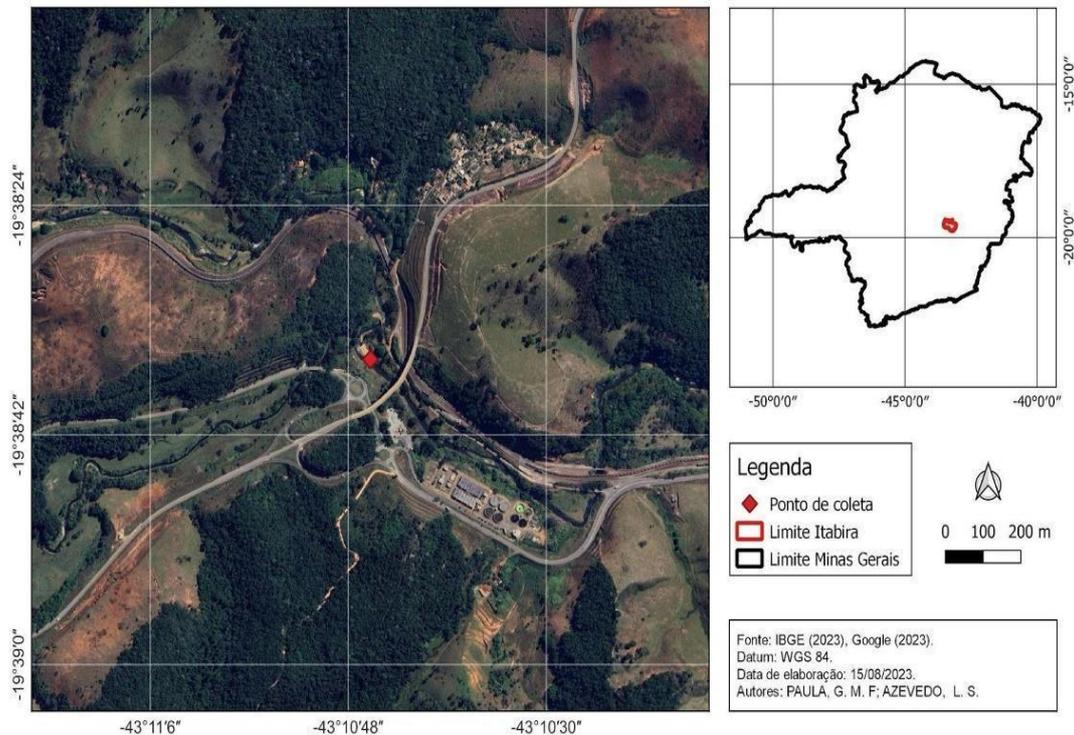


Figura 1: Mapa de localização do ponto de coleta de amostra de solo. Fonte: Os autores (2024).

### Coleta e descrição morfológica do solo

Próximo à confluência dos rios Jirau e Do Peixe, ( $19^{\circ}38'36.08''S$ ,  $43^{\circ}10'46.00''O$ ) abriu-se um perfil de solo com 90 cm de profundidade para coleta de solo aluvial decorrente de evento ocasionado por origem antropogênica (Figura 2) que foi o rompimento da barragem de Fundão no ano de 2015. Neste local foi realizada a coleta e descrição morfológica do perfil (Santos *et al.*, 2015) e da cor (Munsell, 1994), incluindo o levantamento dos tipos de materiais de origem humana presentes.

Após a coleta, o material foi levado para o Laboratório de Geografia Física do Instituto Federal de Minas Gerais *campus* Ouro Preto para realização de análises de pH, matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO) e densidade de partículas (Dp) de acordo com análises propostas por Teixeira et al. (2017).

## REFERENCIAL TEÓRICO



Para Silva e Souza (2012) “a questão ambiental em Itabira, torna-se cada vez mais séria na medida em que, hoje, as minas aproximam-se dos bairros e os veios de minério tornam-se mais profundos.” De acordo com esses autores, apesar do aumento da consciência ambiental na sociedade e da intensificação da atuação do Ministério Público na exigência do cumprimento das leis ambientais por parte de empresas mineradoras, persiste uma situação de vulnerabilidade ambiental no município.

Silva e Valadão (2016) afirmam ainda que a rede hidrográfica do QF é representada por duas bacias de significativa importância, sendo elas a bacia do Rio São Francisco e a bacia do Rio Paraopeba. Já o complexo de Itabira é inserido ao sul pela sub bacia do rio Peixe e ao norte pela sub bacia do rio Jirau, com vales profundos sendo predominantes em formato de “V” e detonam gradientes de drenagem elevada com canais retilíneos, característica de leito rochoso homogêneo (Cunha, 1994).

Os estudos de solos antropogênicos, são importantes devido ao impacto que os seres humanos possuem sobre o ambiente e a paisagem (Peloggia, 2017; Teixeira et al, 2022). Esses estudos são cruciais para compreendermos a interação entre as atividades humanas e os processos naturais, bem como para desenvolver estratégias de manejo sustentável da terra. Estes solos são criados, modificados ou atendidos diretamente pelas atividades humanas, como agricultura, urbanização, mineração e construção (Taroli e Sofia, 2016).

Desta forma, estudá-los nos permite compreender como as ações humanas influenciam os processos naturais, incluindo a herança, a formação do solo, a degradação e a contaminação (Costa e Peloggia, 2019).

O termo antropoceno entrou em vigor nos anos 2000 pelo atmosférico holandês Paul Crutzen, juntamente com o ecologista Eugene Stoermer no Nobel de química (Crutzen e Stoermer, 2000), embora haja um debate entre os cientistas sobre quando é o início proposto para o Antropoceno. Ruddiman (2003) afirma que a revolução industrial é considerada um marco para as transformações antropogênicas no planeta, pela intensa exploração de recursos naturais e aumento da emissão de gases estufas. Esse surgimento, segundo Lewis e Maslin (2015), é decorrente da transformação entre o homem e natureza, formando assim uma nova era geológica marcada pelas atividades humanas.

De acordo com Steffen et al. (2016) "o Antropoceno ressalta a necessidade urgente de uma gestão eficaz e sustentável dos sistemas terrestres, aquáticos e atmosféricos para evitar mudanças ambientais perigosas e irreversíveis". Portanto podemos considerar que o antropoceno é um conceito geológico que destaca as influências significativas das



atividades humanas em escala global. Essa época ressalta a importância dos estudos sobre a complexa interação entre os seres humanos e o meio ambiente. Através desses estudos é proporcionado uma maior compreensão dos impactos das atividades humanas, inclusive nos solos e relevo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise laboratorial das amostras

A tabela 1, a seguir, apresenta os dados das análises laboratoriais, onde apresenta variáveis que descrevem propriedades importantes do solo, visando elucidar minuciosamente os dados recolhidos a partir das análises do perfil.

Observa-se que o pH H<sub>2</sub>O das amostras do solo manifestam-se em valores entre 6,24 e 6,92, decrescendo inversamente ao aumento da profundidade. De acordo com a nomenclatura sugerida por Alvarez et al. (1999), todas as camadas neste perfil se situam qualitativamente em caráter de acidez fraca (6,1 a 6,9).

Prof.	pH		$\Delta$ PH	Dp	MO	CO	Cor
	H <sub>2</sub> O	KCl					
cm				g cm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>		Seca
0-20	6,92	5,19	-1,73	2,65	50,34	4,98	7.5 YR 4/4
20-46	6,54	5,03	-1,24	2,62	61,05	4,99	7.5 YR 4/3
46-70	6,45	4,77	-1,68	3,11	42,38	4,99	7.5 YR 4/3
70-90	6,24	5,11	-1,13	3,08	35,10	5,03	7.5 YR 4/4

Tabela 1: Análise de amostras no perfil de solo.

Prof.: Profundidade; MO: Matéria orgânica; CO: carbono orgânico; Dp: densidade de partículas; FF: fator f.

Notavelmente, o pH KCl demonstra valores entre 4,77 e 5,19. Destaca-se que tais níveis permanecem abaixo da neutralidade, corroborando com o caráter de natureza ácida do solo. A discrepância entre os valores de pH H<sub>2</sub>O e pH KCL ( $\Delta$  pH) reflete-se em valores negativos de  $\Delta$  pH, o que indica o predomínio de cargas negativas no perfil.

Para o caráter de Dp os valores oscilam entre 2,65 e 3,11, aumentando à medida que se adentra as camadas mais profundas do solo. Esta elevação do valor sugere uma crescente compactação do substrato, indicando possíveis desafios à infiltração de água e desenvolvimento radicular. Segundo Santos (2019), o alto valor de Dp do rejeito pode ser



explicada pela composição mineralógica do rejeito, onde os oxi-hidróxidos de Fe hematita e goethita possuem, respectivamente valores iguais a 5,26 e 4,26 g cm<sup>-3</sup>, ao qual avaliou os rejeitos da barragem de Fundão.

Os parâmetros MO e CO refletem uma tendência declinante à medida que se aprofunda no perfil do solo, com valores de 35,10 a 61,05 g kg<sup>-1</sup> para MO e 4,99 a 5,03 g kg<sup>-1</sup> para CO. Este declínio atesta a progressiva decomposição da matéria orgânica ao longo do aumento da profundidade nas distintas camadas do perfil analisadas.

A abordagem criteriosa destes resultados delinea um panorama multifacetado das propriedades e características do solo examinado. As discrepâncias entre pH H<sub>2</sub>O e pH KCL, o aumento da Dp com a profundidade e o comportamento variável da matéria orgânica conferem ao estudo uma perspectiva holística e substancial, valiosa para a compreensão da dinâmica e potencialidades do solo antrópico em questão.

### **Análise morfológica do perfil**

Para o caráter cor, todas as camadas do perfil (Figura 2 - A) são descritas qualitativamente como “brown”. Essa tonalidade sugere presença de matéria orgânica e minerais que contribuem para a coloração designada (Fernandez et al., 1988).

As camadas apresentam propriedades homogêneas quanto à textura, plasticidade, pegajosidade e cor. Para a propriedade física de textura, foram classificadas como sendo de textura arenosa. Para as propriedades morfológicas de plasticidade e pegajosidade as amostras foram classificadas como sendo não plástica e não-pegajosa. No caráter cor, o perfil apresentou mesmo matiz (YR) e valor nas quatro camadas, variando somente o croma, com pequena variação. Assim, foram definidas como sendo 4/4 nas camadas 0-20 e 70-90 cm, e 4/3 nas camadas intermediárias, 20-46 e 46-70 cm.

Quanto à presença de materiais de origem antrópica, foi detectado a presença de plásticos em todas as camadas, tecidos nas camadas de 20-46 e 46-70 cm e metal nas camadas de 0-20 e 70-90 cm. Nos materiais designados como plásticos houve a presença de embalagens de remédios, sacos/sacolas, garrafas PET, esponjas e outros tipos sem possibilidade de identificação. Para os demais tipos, metais e tecidos, o que foi possível classificar foram restos de roupas e de latas metálicas.

Para materiais orgânicos e seres vivos, foram detectados nas camadas os seguintes elementos: raízes finas e médias em todas as camadas, formigas e cupins nas camadas intermediárias, fragmentos de árvores arrastados com a lama nas três camadas mais profundas e larvas de coleópteros na camada 20-46- cm.

Na área ao redor do perfil (Figura 2 - B) foi observado a presença de andorinhas, patos, capivaras, vegetação rasteira e odor resultante da água não potável, tecidos, latas de bebidas de alumínio e de ferro e pneus.

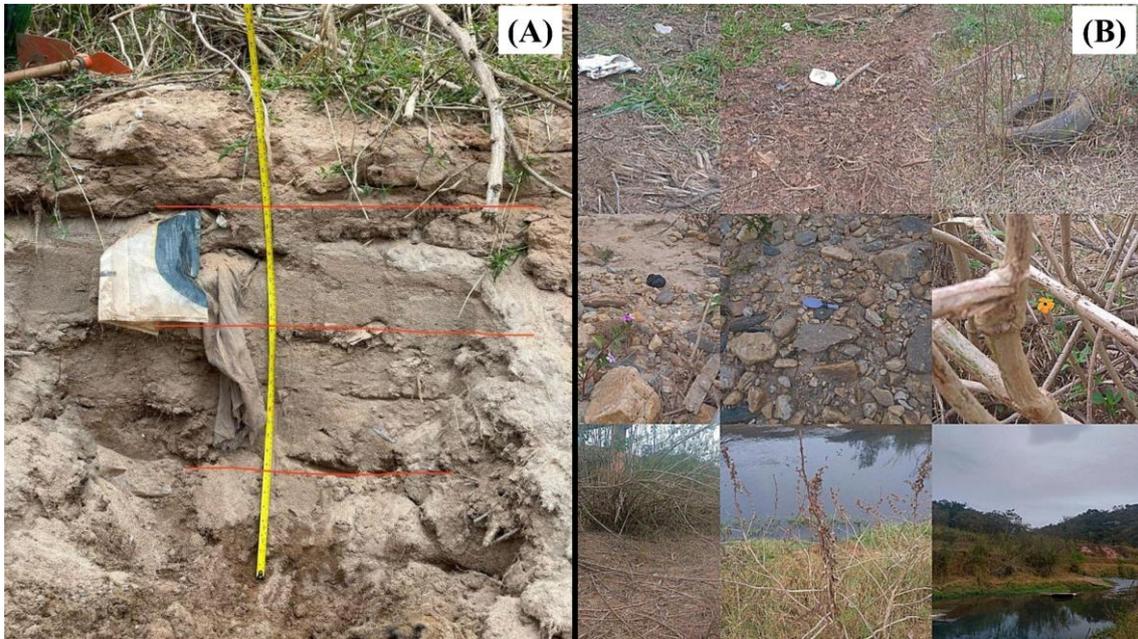


Figura 2: (A) Perfil de solo aberto para coleta de amostra. (B) Mosaico com fotografias da área próxima ao ponto de coleta de amostra de solo..

Na área também se observa, perante a perspectiva geomorfológica, a deposição de material, denominado de rejeitos da mineração, sobre a calha e margem do rio Jirau. Tarolli e Sofia (2016) designam esse processo decorrente da mineração como fluxo de detritos com deposição nas margens dos vales fluviais, provocando a deposição rápida de volume considerável sobre o material aluvial natural, tornando em superfície, material aluvial antropogênico, tanto de caráter do solo quanto do relevo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho realizado, diante da observação da paisagem associado a descrição e coleta do perfil, e análises laboratoriais foi possível observar a estreita relação entre a ação humana e os processos pedológicos e geomorfológicos fluviais, mesmo com análises simplificadas. Porém, capazes de identificar a alteração em ambiente de margem fluvial.

Tanto o solo antropogênico quanto o relevo na calha e margem do rio apresentam modificações derivadas da ação humana. Onde a análise do impacto das ações humanas



a partir da análise associada entre solo e relevo ajuda a compreender a formação de elementos artificiais que são inseridos e integrados à paisagem natural, agora modificada. O perfil de solo antropogênico avaliado possui padrão de homogeneidade entre as camadas que o compõem, derivadas de material que foi definido durante a coleta como um tipo de material aluvial antropogênico.

Por fim, nota-se a crucial necessidade de compreender as alterações humanas no solo e no relevo para realizar a correta observação da paisagem, a fim de que a interpretação que inclui elementos antrópicos possa ser mais um componente analisado para a devida interpretação e reabilitação de áreas degradadas.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.F.; VALADÃO, R.C. Relevo Antropogênico: mineração de ferro e a interferência humana. 1. ed. Curitiba: Appris, 147p. 2016.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo. 1997. 185f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1997.

COSTA, J. R.; PELOGGIA, A. U. G. Geoquímica de Terrenos Urbanos Modificados pela Humanidade e Serviços Ecosistêmicos (SE): o Caso de Santa Maria (RS, Brasil). Revista do Departamento de Geografia, n. 37, p.150-159, 2019.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. The Anthropocene. IGBP Global Change Newsl. n. 41, p. 17–18 (2000).

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-246.

FERNANDEZ, R. N. et al. Color, Organic Matter, and Pesticide Adsorption Relationships in a Soil Landscape. Soil Science Society of America Journal, n. 52, p. 1023-1026, 1988.

LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the Anthropocene. Nature, 519 (7542), p.171-180, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature14258>. Acesso em: 10 ago. 2023.

MUNSELL soil color charts. Baltimore: Munsell Color, 1994.



- PELOGGIA, A. U. G. O que produzimos sob nossos pés? Uma revisão comparativa dos conceitos fundamentais referentes a solos e terrenos antropogênicos. *Revista UNG - Geociências*, v.16, n.1, 102-127, 2017.
- REZENDE, V. L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v.28, n.3, p.375-384, 2016.
- ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. *Geonomos*, v. 18, p. 34-37, 2010.
- REHBEIN, M. O.; ROSS, J. L. S. Impacto ambiental urbano: revisões e construções de significados. *GEOUSP- Espaço e Tempo*, São Paulo, Nº 27, pp. 95- 112, 2010.
- RUDDIMAN, W. F. The Anthropogenic Greenhouse Era began thousands of years ago. *Climate Change*, 61(3), 261-293, 2003.
- SANTOS, R.D. et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 102 p, 2015.
- SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecnossolos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*, v. 24, p. 104-135, 2017.
- SILVA, M. G. S.; SOUZA, M. R. G. Itabira - Vulnerabilidade Ambiental: impactos e riscos socioambientais advindos da mineração em área urbana. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. 2012.
- SILVA, C. F. A.; VALADÃO, R. C. Relevo antropogênico: mineração de ferro e a interferência humana. Curitiba: Appris, 2016.
- STEFFEN, W. et al.. Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology*, 255 (2016), pp. 140-161.
- TEIXEIRA, R. C. et al.. Solos Antropogênicos: solos decorrentes da ação humana em perspectiva ao Antropoceno. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 15, p. 107-123, 2022.
- TEIXEIRA, P. C. et al. (eds.). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. rev. e ampl. EMBRAPA: Rio de Janeiro, 2017. 577p.