



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/JEAP.4.2.2019.2373.122-129



Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra

Impacts from the tailings dam rupture of Brumadinho, Brazil: an analysis based on land cover changes

Luís Flávio Pereira^a, Gabriela de Barros Cruz^a, Ricardo Morato Fiúza Guimarães^b

^a Universidade Federal de Viçosa-UFV, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Viçosa-MG, Brasil. CEP: 36570-900. E-mail: luis.flavio@ufv.br; gabriela.cruz@ufv.br.

^b Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP, Rua Professor Paulo Magalhães Gomes, Ouro Preto-MG, Brasil. CEP: 35400-000. E-mail: rickmorato369@gmail.com.

ARTICLE INFO

Recebido 02 Fev 2019

Aceito 19 Fev 2019

Publicado 19 Fev 2019

ABSTRACT

The collapse of tailings dams may cause severe socioambiental and economic impacts. On February 25, 2019, the tailings dam of the mine “Córrego do Feijão”, associated with the mining company “Vale S.A.” collapsed in Brumadinho, MG, Brazil. The rupture caused dozens of deaths, and the tailings mud spread all over many areas of the municipality. Geoprocessing tools were used to estimate and to characterize the area affected by the mud, as well as to identify impacts caused by the rupture, under the perspective of land cover changes. The results showed that the tailings mud buried 297,28 ha of land, and at least 193 corporate (41%) and family (59%) facilities were compromised. 51% of the affected land was occupied by native vegetation (most of it preserved vegetation), 19% by human activities with a high circulation of people and 13% by agricultural activities. These changes suggest severe impacts, like contamination of the physical and biotic environments; deterioration of the physical and mental health of the affected populations; and local socioeconomic destabilization. Specific and multidisciplinary studies in different scientific fields are required to characterize and to find solutions to mitigate these impacts.

Keywords: mining, geoprocessing, environmental impacts, social impacts, economic impacts.

RESUMO

O rompimento de barragens de rejeitos de mineração pode causar impactos socioambientais e econômicos severos. No dia 25 de janeiro de 2019, a barragem de rejeitos da mina Córrego do Feijão, associada à mineradora Vale S.A., se rompeu em Brumadinho, MG, Brasil. O rompimento causou dezenas de mortes, e os rejeitos se espalharam por diversas áreas ao longo do município. Foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento para estimar e caracterizar a área atingida pela lama, bem como identificar impactos gerados pelo rompimento, sob a ótica das mudanças de cobertura da terra. Os resultados mostram que 297,28 ha de terras foram soterradas pelos rejeitos, e pelo menos 193 estruturas empresariais (41%) e familiares (59%) foram comprometidas. 51% das terras atingidas eram ocupadas por vegetação nativa (a maior parte conservada), 19% por atividades antrópicas de alta circulação de pessoas e 13% por atividades agropecuárias. Essas alterações sugerem impactos graves, como: contaminação dos meios físico e biótico regional; deterioração da saúde física e mental das populações atingidas; e desestabilização socioeconômica local. Estudos específicos e multidisciplinares em diferentes campos científicos são requeridos para caracterizar e buscar soluções a fim de mitigar esses impactos.

Palavras-Chave: mineração, geoprocessamento, impactos ambientais, impactos sociais, impactos econômicos.

Introdução

Suscintamente, barragens de mineração são estruturas construídas para abrigar os rejeitos dos processos de extração e beneficiamento de minério (DNPM, 2017). No Brasil, existem 769 barragens de mineração, e apenas 425 (55%) delas estão inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens (ANM, 2019), o que evidencia a iminência de catástrofes associadas ao rompimento de barragens no país, e principalmente no estado de Minas Gerais, que abriga 219 delas. Além disso, das 425 barragens monitoradas pela política, 63 apresentam risco alto ou moderado e 84 foram construídas pelo método de alteamento à montante, considerado pouco seguro ou estável (Pereira, 2005; ANM, 2019).

O rompimento de barragens de rejeito de mineração causa mudanças drásticas na cobertura da terra (Aires et al., 2018), e acarreta em impactos severos, como distúrbios hidrológicos, problemas socioeconômicos, contaminação do meio físico e biótico, mortes e comprometimento da saúde e bem-estar das populações atingidas (Foley et al., 2005; Dias et al., 2018; Carvalho et al., 2017; Queiroz et al., 2018; Magris et al., 2019; Neves et al., 2018). No dia 25 de janeiro de 2019, pouco mais de três anos após o rompimento de uma barragem de rejeitos em Mariana, Minas Gerais (MG), um novo rompimento de barragem de rejeitos de minério de ferro associada à mineradora Vale S.A. ocorreu em Brumadinho, MG, Brasil. Ambas as barragens era construídas de acordo com o método de alteamento à montante (G1, 2019). Os rejeitos da Barragem I, associada à mina Córrego do Feijão, transbordaram outras duas barragens e escoaram por uma grande extensão de terras do município de Brumadinho, até serem drenados pelo rio Paraopeba (Figura 1).

O maior impacto imediato do rompimento da barragem foi o de perdas humanas. Até o dia 02 de fevereiro de 2019, oito dias depois do rompimento, foram contabilizadas 110 mortes e 238 pessoas desaparecidas (G1, 2019). O grande número de mortes no desastre está relacionado, principalmente, à localização das áreas administrativas da empresa, próximas à barragem rompida, e de residências, que se estendiam desde as proximidades da mina até a comunidade de Parque da Cachoeira (Figura 1).

Imagens aéreas e fotografias do terreno mostram que rejeitos cobriram grande extensão de terras, danificando estruturas empresariais, moradias, atividades agropecuárias e vegetação nativa (G1, 2019) (Figura 1). Entretanto, no âmbito quantitativo, pouco se sabe sobre o tamanho e composição das áreas atingidas, o que dificulta o dimensionamento, caracterização e mitigação dos

impactos gerados. Como o acesso à área é restrito, e a remoção dos rejeitos é inviável a curto prazo, ferramentas de geoprocessamento e uso de imagens de satélite apresentam importância na caracterização e inventariação das áreas atingidas.

A partir dessas considerações, o estudo objetivou estimar e caracterizar a área atingida pelos rejeitos oriundos do rompimento da barragem da mina de Córrego do Feijão, bem como discutir os impactos gerados pelo rompimento e sua magnitude, sob a ótica das mudanças de cobertura da terra e à luz da literatura.

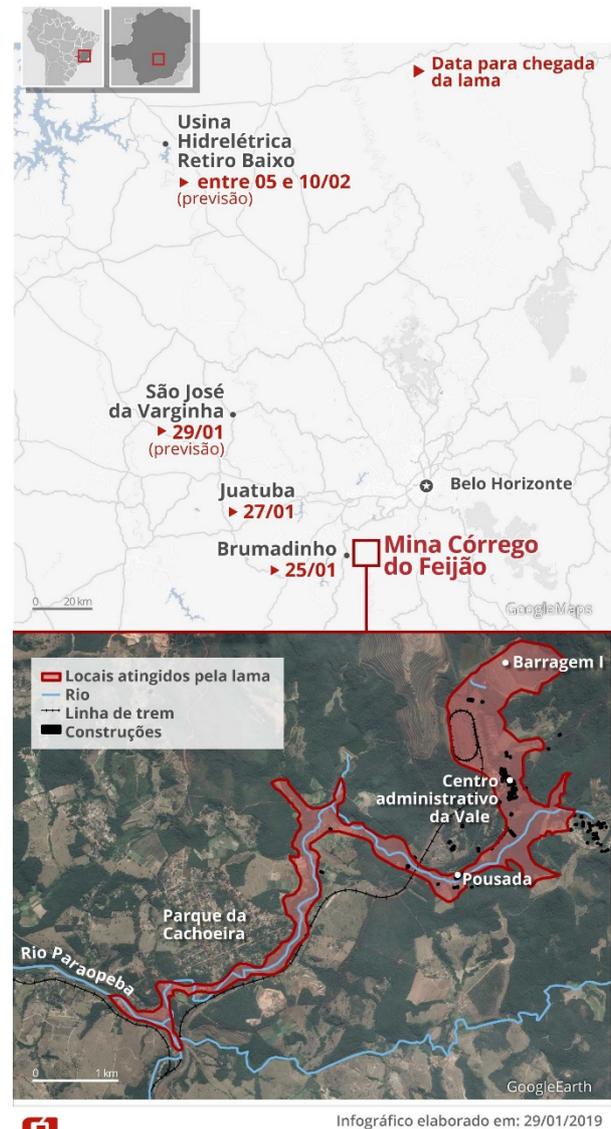


Figura 1. Esquematização da localização da mina Córrego do Feijão e das localidades atingidas pelo rompimento. Fonte: G1 (2019).

Material e Métodos

A área atingida pelos rejeitos foi identificada via interpretação de uma imagem da plataforma Sentinel (Drusch et al., 2012), capturada pelo sensor 2B no dia 27/01/2019, dois dias após o desastre. A imagem foi obtida junto ao *United States Geological Survey* com correções

geométrica e radiométrica, bem como ortorretificação e registro espacial (nível 1C), mediante cadastro e solicitação no endereço <https://earthexplorer.usgs.gov>. A delimitação da área coberta pela lama foi realizada via vetorização manual, interpretando-se composições RGB 432 e 532 da imagem Sentinel 2B, e de um *raster* do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Rouse et al., 1973). Como apoio, foram utilizadas imagens de alta resolução do *Google Earth Pro* anteriores ao rompimento da barragem.

A cobertura das terras da área atingida foi mapeada integrando séries temporais de dados de alta resolução do *Google Earth Pro* com o sistema de informações geográficas QGIS, conforme a metodologia apresentada por Pereira, Guimarães & Oliveira (2018). Para mapear as classes de cobertura da terra sem consultas a campo, foram empregados os padrões visuais, geoespaciais e temporais descritos pelos mesmos autores.

As classes mapeadas foram: Mata Madura (florestas em estágio avançado de sucessão ecológica); Regeneração Natural (áreas com cobertura natural em diferentes estágios de sucessão); Matas Antropizadas (áreas naturais com forte interferência humana, de modo contínuo no tempo); Brejos (ambientes pantanosos); Pastagens; Agricultura Anual; Água; Moradia e Habitação (aglomerados habitacionais e de serviços – como pousadas – e suas estruturas associadas, como calçamentos, pátios e galpões); Estradas Rurais; Edificações Corporativas (áreas com edificações industriais e administrativas, identificadas via presença de estruturas e veículos associadas ao processamento de minério); Diques de Barragens; e Rejeito de Mineração. A escala de mapeamento foi de 1:4000, o que equivale a uma área mínima mapeável de 400 m² (IBGE, 2013).

Como última análise, foram contabilizadas as estruturas imóveis atingidas pelos rejeitos, em duas categorias: Estruturas Empresariais, aquelas associadas à atividade de extração e processamento mineral (p. ex.: sedes administrativas, maciços de barragens e trechos ferroviários); e Estruturas Familiares, que foram as demais estruturas atingidas, (p. ex.: casas, edificações rurais, habitações de pousadas, e piscinas). Trechos de estrada não foram incluídos porque são estruturas mistas, que serviam ambos grupos. A contabilização também foi realizada via interpretação dos dados do *Google Earth Pro*, conforme Pereira, Guimarães & Oliveira (2018).

Resultados

A interpretação dos dados derivados da imagem Sentinel 2B e séries temporais do *Google Earth Pro* permitiram mapear as coberturas da terra

antes do soterramento por lama (Figura 2). Os rejeitos cobriram um total de 297,28 ha de terras, a maioria terras baixas e relativamente planas, circundantes ao leito de cursos d'água. Foi identificada uma grande variabilidade nas coberturas, o que permitiu o mapeamento de 12 classes de cobertura da terra. Os resultados apresentados na Figura 2 evidenciam que muitas edificações e estruturas fixas foram destruídas pela lama, além de áreas de atividade agrícola e vias de circulação.

A Figura 3A mostra um esquema da distribuição das coberturas da terra da área atingida pelos rejeitos de mineração. Antes do rompimento, atividades agropecuárias ocupavam 37,9 ha. Em relação à área total, 8% das terras eram ocupadas por agricultura, 5% por pastagens, 2% por corpos hídricos superficiais e 15% por componentes das próprias barragens rompidas/danificadas (como maciços e leito). Cerca de 19% da área atingida era ocupada por atividades antrópicas não agrícolas e os 51% restantes da área atingida eram cobertos por vegetação espontânea.

A maior parte da vegetação espontânea estava conservada (65%), e cerca de 26% era vegetação em estágio intermediário de conservação. Além disso, 9% da vegetação era de ambiente pantanoso, de grande importância para a biodiversidade e proteção dos recursos hídricos (Figura 3B).

Em relação aos 57 ha de terrenos antropizados (19% da área atingida, Figura 3A), 86% correspondiam a áreas corporativas; 12% eram ocupados por moradias e habitações, e 2% eram estradas rurais (Figura 3C). Apesar da maior área destruída estar relacionada a atividades empresariais, os bens imóveis familiares foram os mais atingidos: 59% das estruturas comprometidas (Figura 4). As perdas estruturais foram grandes, visto que um total de 193 estruturas foram diretamente atingidas pela lama.

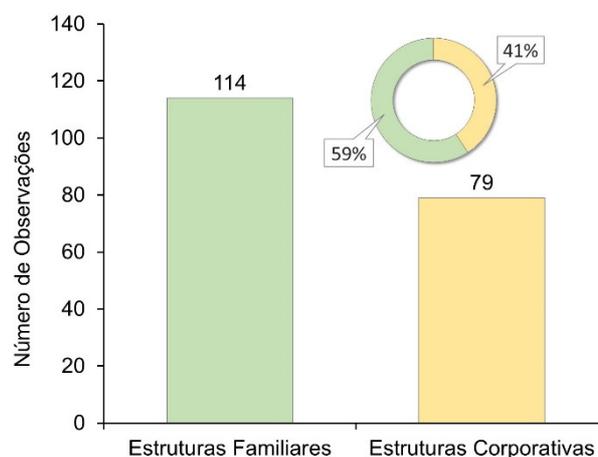


Figura 4. Número de estruturas permanentes atingidas pelos rejeitos de mineração.

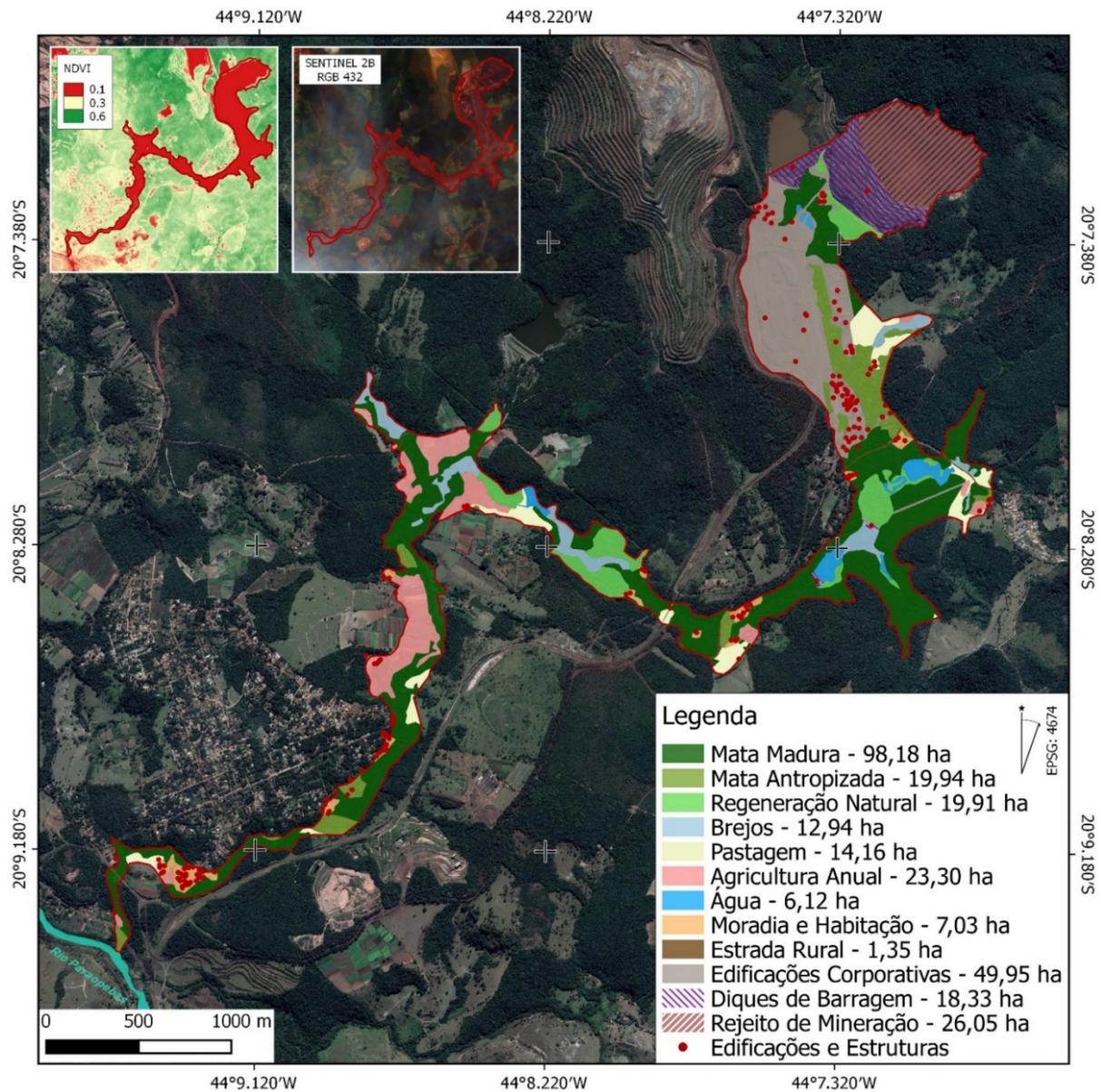


Figura 2. Área coberta pelos rejeitos e cobertura original das terras, anteriormente à catástrofe. Imagem de fundo: *Google Earth*, 01/06/2018.



Figura 3. A. Particionamento das coberturas da terra na área atingida pelos rejeitos; B. Particionamento das áreas de vegetação espontânea que foram atingidas (nativa); C. Particionamento das coberturas antrópicas não agrícolas que foram atingidas (não inclui barragens).

Discussão

O rompimento da barragem de rejeitos no complexo minerário Córrego do Feijão gerou mudanças de cobertura da terra muito significativas. Essas mudanças permitem avaliar os impactos do desastre de forma integrada e realista. A seguir são apontados alguns dos principais impactos socioeconômicos e ambientais gerados pelo rompimento, sob a perspectiva das alterações de cobertura da terra, com foco local/regional.

Os rejeitos de mineração de ferro na região do quadrilátero ferrífero apresentam alto potencial de contaminação dos meios físico e biótico, do curto ao longo prazo, devido ao seu conteúdo de minério fino e presença de metais pesados (Carvalho et al., 2017; Queiroz et al., 2018). Ao atingir as partes baixas do relevo, o escoamento de rejeitos contaminou os recursos hídricos locais, bem como o rio Paraopeba. A drenagem dos rejeitos dizimou a ictiofauna e outros animais aquáticos, provavelmente por asfixia via aumento exacerbado da carga de sedimentos (Lopes, 2016). Além disso, a contaminação comprometeu a sobrevivência de comunidades tradicionais à jusante (Figura 5A) e afetou o abastecimento hídrico de áreas urbanas, como parte da área metropolitana de Belo Horizonte, capital mineira (Figura 1). Os 12 milhões de metros cúbicos de lama devem elevar o transporte de sedimentos ao longo do tempo (Magris et al., 2019), causando assoreamento do leito e barragens de hidrelétricas dos rios Paraopeba e São Francisco, além da contaminação dos mananciais subsuperficiais.

Não só a ictiofauna foi afetada, mas toda a vida silvestre (Figura 5AB), pois 51% da área atingida são ecossistemas naturais ricos em biodiversidade, dos quais mais de 65% (98,18 ha) eram matas em estágio ecológico avançado (Figuras 1 e 2). A gravidade dessa perda é acentuada devido ao fato de as florestas afetadas serem estacionais semidecíduais em um ecótono Cerrado/Mata Atlântica (IBGE, 2004) - dois *hotspots* de biodiversidade altamente ameaçados (Myers et al., 2000). A presença de rejeitos de mineração nesses ecossistemas poderá provocar biodisponibilização, bioacumulação e distribuição regional de metais pesados, comprometendo a biodiversidade e resiliência ambiental em grande escala espacial (Dias et al., 2018; Queiroz et al., 2018). Impactos severos sobre a fauna marinha poderão ocorrer, caso a lama atinja o oceano via foz do rio São Francisco (Magris et al., 2019).

A lama cobriu grande extensão de terras férteis da região (Figura 2). Além da contaminação geoquímica, o ressecamento do rejeito de minério de ferro gera uma camada pouco argilosa, densa e

espaça, que impede fisicamente a prática agropecuária (Silva et al., 2016). Os terrenos atingidos ocupavam as partes baixas do relevo, onde havia maior concentração de matéria orgânica e argila de maior atividade, o que propicia disponibilidade de água e nutrientes (Schaefer, 2013). Assim, as terras atingidas eram as relativamente mais férteis, em comparação aos recursos oferecidos pelos latossolos e cambissolos dominantes regionalmente (FEAM, 2010). Por ocuparem esses solos, extensas áreas de agricultura anual foram destruídas, principalmente culturas olerícolas, como alface e outras culturas folhosas (Figura 5C). Ao destruir 14,16 ha de pastagens, a lama também soterrou bovinos e outros animais domésticos (Figura 5D).

Como solos agrícolas, fontes de água e interações ecossistêmicas foram gravemente comprometidos, produção de alimentos, segurança alimentar e saúde das comunidades tendem a ser fortemente afetadas na região (Carvalho et al., 2017; Dias et al., 2018). Além disso, muitas estradas, moradias, bens e meios de produção foram destruídos pela lama (Figuras 2, 3 e 4), gerando perdas econômicas graves para as famílias atingidas, das quais 81 se encontram desabrigadas (Coelho, 2019). A grande dimensão das perdas humanas, ambientais e socioeconômicas também impactará fortemente a condição psicológica, psiquiátrica e psicossocial das populações atingidas (Neves et al., 2018).

Assim, são requeridos diversos estudos sobre o processo de degradação socioambiental, bem como sua dinâmica temporal e espacial. Devido à grande dimensão e à natureza dos impactos imediatos encontrados, são considerados emergenciais os estudos que: a) visem diagnosticar os quadros socioeconômico, ambiental e psicológico pós-catástrofe; b) abordem as propriedades e o potencial poluidor dos rejeitos; e c) avaliem efeitos imediatos da contaminação sobre a saúde humana e do ecossistema. Os resultados desses estudos forneceriam diretrizes para selecionar tecnologias e métodos de remediação dos impactos de curto e médio prazo, e também insights para estudos que busquem soluções de mitigação dos danos a longo prazo. Por fim, tendo em vista a grande quantidade de estruturas empresariais e familiares presentes na trajetória (previsível) da lama (114 estruturas, Figura 4), há necessidade de estudos relacionados à melhoria na gestão de riscos pelas empresas de mineração, bem como desenvolvimento de políticas de acompanhamento e indenização das famílias atingidas.



Figura 5. Alguns impactos do rompimento da barragem da mina do Córrego do Feijão. A. Indígena Pataxó Hã-hã-hã recolhe peixes mortos no rio Paraopeba; B. Ave silvestre atingida pela lama; C. Solos e culturas agrícolas contaminados; D. Animas domésticos soterrados. Fonte: El País (2019ab) e Globo Rural (2019).

Devido à grande dimensão e à natureza dos impactos imediatos encontrados, são considerados emergenciais os estudos que: a) visem diagnosticar os quadros socioeconômico, ambiental e psicológico pós-catástrofe; b) abordem as propriedades e o potencial poluidor dos rejeitos; e c) avaliem efeitos imediatos da contaminação sobre a saúde humana e do ecossistema. Os resultados desses estudos forneceriam diretrizes para selecionar tecnologias e métodos de remediação dos impactos de curto e médio prazo, e também insights para estudos que busquem soluções de mitigação dos danos a longo prazo. Por fim, tendo em vista a grande quantidade de estruturas empresariais e familiares presentes na trajetória (previsível) da lama (114 estruturas, Figura 4), há necessidade de estudos relacionados à melhoria na gestão de riscos pelas empresas de mineração, bem como o desenvolvimento de políticas de acompanhamento e indenização das famílias atingidas.

A complexidade e intensidade associadas aos impactos observados, e suas correlações, escapam ao arcabouço do presente estudo, pois necessitam de análises aprofundadas em cada campo de estudo específico. Entretanto, o breve dimensionamento dos impactos, sob a ótica das mudanças de cobertura da terra, forneceu

importantes perspectivas para que pesquisadores possam direcionar seus estudos. Esses estudos são necessários para que se possa mensurar e remediar as perdas do curto ao longo prazo, e são requeridas desde abordagens específicas até as mais multidisciplinares e integrativas. Ademais, o presente trabalho apresenta uma abordagem limitada, mesmo nos âmbitos local e regional. Consequentemente, outras investigações exploratórias sobre cada impacto do rompimento da barragem de Córrego do Feijão podem e devem ser realizadas, de forma a direcionar estudos a seus campos científicos, de forma específica.

Conclusão

O rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão causou mudanças de cobertura da terra muito significativas. As alterações detectadas apontam para a ocorrência de graves impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do volume e potencial tóxico do rejeito acumulado. Merecem destaque: contaminação do meio físico e biótico regional; deterioração da saúde física e mental das populações atingidas; e desestabilização socioeconômica imediata, em âmbito local. Estudos específicos e multidisciplinares em diferentes campos

científicos são requeridos para caracterizar e buscar soluções para mitigar esses impactos.

São emergenciais os estudos que: a) visem diagnosticar os quadros socioeconômico, ambiental e psicológico pós-catástrofe; b) abordem as propriedades e o potencial poluidor dos rejeitos; e c) avaliem efeitos imediatos da contaminação sobre a saúde humana e do ecossistema.

Referências

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. 2018. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. *Land Use Policy*, v. 70, p. 63-70.

ANM. 2019. Classificação de Barragens de Mineração. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/plano-de-seguranca-de-barragens>.

CARVALHO, M. S.; RIBEIRO, K. D.; MOREIRA, R. M.; DE ALMEIDA, A. M. 2017. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. *Acta Brasiliensis*, v. 1, n. 3, p. 37-41.

COELHO, H. 2019. Desabrigados de Brumadinho dizem temer que fiquem 'esquecidos' e relembram Mariana. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/27/desabrigados-de-brumadinho-dizem-temer-que-fiquem-esquecidos-e-relembra-mariana.ghtml>.

DIAS, C. A.; DA COSTA, A. S. V.; GUEDES, G. R.; UMBELINO, G. J. M.; DE SOUSA, L. G.; ALVES, J. H.; SILVA, T. G. M. 2018. Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. *Revista Espinhaço*, v. 7, n. 1, p. 21-35.

DNPM. 2017. Portaria Nº 70.389 de 17 de maio de 2017. Ministério de Minas e Energia, Brasília.

DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; SY, O.; MARCHESI, F. B. 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, v. 120, p. 25-36.

EL PAÍS. 2019a. Lama da barragem em Brumadinho ameaça futuro da aldeia Pataxó Hã-hã-hã. Disponível em:

https://brasil.elpais.com/brasil/2019/01/29/album/1548769697_827819.html#foto_gal_1.

EL PAÍS. 2019b. Animais, as vítimas não contabilizadas do desastre de Brumadinho. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/01/28/album/1548699604_617278.html#foto_gal_1.

FEAM. 2010. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. FEAM, Belo Horizonte.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.T.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. CO.; RAMAKUTTY, N.; SNYDER, P. K. 2005. Global consequences of land use. *Science*, v. 309, n. 5734, p. 570-574.

G1. 2019. O que se sabe até agora sobre o rompimento da barragem em Brumadinho. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/veja-o-que-se-sabe-ate- agora-sobre-o-rompimento-da-barragem-da-vale-em-brumadinho.ghtml>.

GLOBO RURAL. 2019. Agricultores prejudicados por lama de Brumadinho podem ser até 400. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/noticia/2019/01/numero-de-agricultores-prejudicados-em-brumadinho-sera-entre-350-e-400.html>.

IBGE. 2004. Mapa de biomas do Brasil e mapa de vegetação do Brasil. IBGE, Terceira Edição, Rio de Janeiro.

IBGE. 2013. Manual Técnico de Uso da Terra. Terceira Edição, Rio de Janeiro.

LOPES, L. M. N. 2016. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. *Sinapse Múltipla*, v. 5, n. 1, p. 1-15.

MAGRIS, R. A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J. A.; BAN, N. C. 2019. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). *Science of The Total Environment*, n. 659, p. 828-840.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.;

- KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858.
- NEVES, M. C. L.; ROQUE, M.; FREITAS, A. A.; GARCIA, F. 2018. PRISMMA – Pesquisa sobre a saúde mental das famílias atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão em Mariana. *Corpus*, Belo Horizonte.
- PEREIRA, E. L. 2005. Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. 185p.
- PEREIRA, L. F.; GUIMARÃES, R. M. F.; OLIVEIRA, R. R. O. 2018. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 3, n. 3, p. 250-264.
- QUEIROZ, H. M.; NÓBREGA, G. N.; FERREIRA, T. O.; ALMEIDA, L. S.; ROMERO, T. B.; SANTAELLA, S. T.; BERNARDINO, F. A.; OTERO, X. L. 2018. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science of the Total Environment*, n. 637, p. 498-506.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP – 351 I. pp. 309-317.
- SCHAEFER, C. E. G. R. 2013. Bases físicas da paisagem brasileira: estrutura geológica, relevo e solos. *Tópicos em ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 8, n. 1, p. 1-69.
- SILVA, A. C.; CAVALCANTE, L. C. D.; FABRIS, J. D.; FRANCO JÚNIOR, R.; BARRAL, U. M.; DE MELO FARNEZI, M. M.; VIANA, A. J. S.; ARDISSON, J. D.; FERNANDEZ-OUTON, L. E.; LARA, L. R. S.; STUMPF, H. O.; BARBOSA, J. B. S.; SILVA, L. C. 2017. Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil. *Revista Espinhaço*, v. 5, n. 2, p. 44-53.