

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA PARA O ACIDENTE DE BRUMADINHO**

Ana Clara Brandão[[1]](#footnote-1)

Helen Ferreira do Nascimento[[2]](#footnote-2)

Larissa Sampaio Freire[[3]](#footnote-3)

Ana Carolina Resende[[4]](#footnote-4)

Raíssa André de Araujo5

Elisa Maria Mano Esteves6

***Resumo***

A mudança no uso do solo (Land Use Change - LUC) é um dos principais fatores para o agravamento do efeito estufa global atualmente. O presente estudo buscou calcular a diferença nas emissões anuais de gases de efeito estufa (GEE) do processo de perda e recuperação vegetal da área de mineração de Brumadinho. O estudo foi aplicado para as datas imediatamente anterior e posterior ao acidente e a mais atual disponível para o satélite Landsat. A interpretação visual das imagens foi utilizada para delimitação e classificação da região afetada, a fim de calcular a área ocupada pelos diferentes usos do solo. O método do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi usado para avaliar as emissões de LUC. Pôde-se analisar que o período antes do desastre apresentava 40% da área ocupada por vegetação densa. Para a imagem mais atual, foi predominante o percentual de áreas com presença de rejeitos (84%) e poucas áreas de recuperação (9,3%). O acidente resultou na perda de 0,1197 Mt CO2 eq/ano (392 t CO2 eq./hectare/ano), das quais 471,48 t CO2 eq/ano (15 t CO2 eq./hectare/ano) foram recuperadas até maio de 2021. Visando mitigar os impactos motivados pelo desastre, devem ser destinados esforços à reabilitação da área afetada e da estrutura vegetal, para que assim seja possível garantir o retorno das propriedades do solo e consequentemente do sequestro de carbono.

**Palavras-chave**: Emissões atmosféricas; Mudança do uso do solo; Acidente de barragem.

**INTRODUÇÃO**

As ações antrópicas resultam em mudanças climáticas, em especial a mudança no uso do solo, que ficou em segundo lugar no ranking das atividades mundiais que mais emitem carbono de forma direta, com um quarto das emissões de gases do efeito estufa (GEE) (IPCC, 2014). No âmbito nacional, o setor de mudança de uso da terra é o maior emissor. Em 2018 foram emitidos 1,9 bilhões de toneladas de CO2eq, e 44% deste montante foram emissões provenientes das mudanças no uso do solo, principalmente por conta do desmatamento nos biomas do Cerrado e Amazônia (SEEG, 2019).

A mineração é considerada uma das atividades mais danosas ao meio ambiente, a qual envolve mudança no uso do solo decorrente da retirada da cobertura vegetal do local para a extração de minérios (CARVALHO et al, 2018). Uma ameaça constante são as barragens, estruturas construídas para abrigar os rejeitos dos processos de extração e beneficiamento de minério (DNPM, 2017).

No dia 25 de janeiro de 2019, ocorreu um dos mais graves desastres do mundo envolvendo barragens de mineração, em Brumadinho, Minas Gerais (FREITAS et al., 2018). Os rejeitos da barragem provocaram a contaminação da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Dos impactos gerados, é possível citar o comprometimento do abastecimento público de água, precariedade nas condições de saúde, perda de vidas humanas, perda de biodiversidade etc. (POLIGNANO; LEMOS, 2020).

Para mitigar os impactos e recuperar a vegetação da região, foram realizadas ações de reflorestamento com espécies de mata atlântica e cerrado em áreas de maior relevância ambiental no início de 2021 (SIF, 2021).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são sistemas informatizados que realizam a obtenção de dados, armazenamento, gerenciamento, tratamento, análise e exibição de informação geográfica, através do relacionamento de sua forma, posição, atributos e variação temporal (DE MENEZES; DO COUTO FERNANDES, 2016). Para mineração, SIG é aplicado em diversos estudos, como DE ARAUJO et al. (2021) na recuperação de áreas degradadas pela mineração na Amazônia Brasileira. Para acidentes de barragens, PEREIRA al. (2019) para analisar os diferentes usos do solo afetados pela barragem de Brumadinho.

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em realizar a avaliação das emissões de GEE do processo de perda e recuperação vegetal da área de mineração de Brumadinho antes e dois anos após o acidente.

**METODOLOGIA**

Para a variação dos estoques de carbono provocada pelo rompimento da barragem de Brumadinho, escolheu-se três datas, duas imediatamente anterior e posterior ao acidente, e uma mais atual, considerando a realização da pesquisa em junho de 2021. As datas foram obtidas de acordo com a disponibilidade de imagens do satélite aplicadas para o cálculo das áreas atingidas, sendo elas 14 de janeiro de 2019, 30 de janeiro de 2019 e 11 de maio de 2021.

O presente estudo calculou a diferença nas emissões anuais de gases de efeito estufa (GEE) por área (∆E) (kg CO2eq ha-1 ano-1) provenientes da mudança de uso da terra (LUC - Land Use Change) (equação 1) na região afetada pelo rompimento da barragem em Brumadinho. A análise foi feita tanto antes (2019) quanto depois do acidente (2021).

(1)

Onde, *i0* o uso inicial da terra e *i* o final; (ha) é a área que mudou no período analisado; e *AT* é a área total da região. O uso da terra foi considerado como Agricultura (A), Pastagem (P), Vegetação Natural Florestal (F), Vegetação Natural Campestre (C), Corpos D’Água (H), Mineração (M), Influência Urbana (U) e Ausência de Vegetação (V).

O cálculo das emissões de GEE associadas ao LUC seguiu as Diretrizes do IPCC para Inventários de GEE – Nível 1 (2006); a Diretiva da Comissão Europeia 2009/28/CE (2009) e a Decisão da Comissão Europeia sobre as diretrizes para o cálculo dos estoques de carbono terrestre (2010).

O total de emissões associadas a LUC (ELUC) é calculado pela equação (2) e inclui as emissões de CO2 () e as emissões de óxido nitroso ().

(2)

O total de emissões de CO2 associadas a LUC é dado pelas equações (3) a (5).

(3)

Onde, *CS* (kg C ha-1) é o estoque de carbono; (kg C ha-1) é o estoque de carbono do uso anterior da terra (*i0* ); *CSx* (kg C ha-1) é o estoque de carbono do uso final (*i*); 44/12 (kg *CO2* [kg C]-1 ) é a razão entre a massa molecular do dióxido de carbono e do estoque de carbono, o qual é usado para converter C para CO2; Ny (anos) é o período de estudo.

(4)

Onde, CS (kg C ha-1) é o estoque de carbono; (kg C ha-1) é o estoque de carbono orgânico do solo (SOC); (kg C ha-1) é o estoque de carbono da vegetação acima e abaixo do solo.

(5)

(kg C ha-1) é estoque de carbono padrão na camada de solo (até 30 centímetros de profundidade); (adimensional) é o fator de uso da terra, o qual expressa o teor orgânico de carbono do solo devido ao uso da terra comparado com o teor padrão de carbono orgânico do solo; (Adimensional) é o fator de manejo, o qual expressa a diferença no teor de carbono orgânico do solo da prática principal de manejo da terra comparada com o teor padrão de carbono orgânico do solo; (Adimensional) é o fator de entrada, o qual expressa a diferença entre a entrada de carbono no solo e o teor padrão de carbono orgânico do solo.

A Tabela 1 contém os valores de , , , , e *CS* obtido a partir do IPCC (2006), EC (2009) e EC (2010).

Tabela 01: Estoques de carbono e fatores para diferentes usos do solo em clima tropical úmido e solos argilosos de baixa atividade

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Uso do solo (clima tropical úmido) | (kg C ha-1) |  |  |  | (kg C ha-1) | (kg C ha-1) | CS (kg C ha-1) |
| Pastagem (P) | 47000 | 1 | 1,17 | 1 | 54990 | 81000 | 135990 |
| CAMPESTRE (C) | 47000 | 1 | 0,97 | 1 | 45590 | 53000 | 98590 |
| Floresta (f) | 47000 | 1 | - | - | 47000 | 198000 | 245000 |
| Agricultura (a) | 47000 | 0,48 | 1,22 | 1 | 27253 | - | 27523 |
| Ausência de vegetação (V)a | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

A Ausência de Vegetação refere-se a área classificada como influência urbana (U), Corpos D’Água (H) e Mineração (M)

O total de emissões de N2O associadas ao LUC (equação 6) é dado pela soma das emissões diretas e indiretas.

(6)

Onde, (kg CO2 eq ha-1 a-1) é o total de emissões de óxido nitroso por ano resultantes do LUC ; (kg CO2 eq ha-1 a-1) é o total de emissões diretas de óxido nitroso por ano resultantes do LUC ; (kg CO2 eq ha-1 a-1) é o total de emissões indiretas de óxido nitroso por ano resultantes do LUC;

As emissões diretas de N2O associadas ao LUC () são derivadas da perda de matéria orgânica do solo (Equação 7).

(7)

Onde, (kg C ha-1) é o estoque de carbono orgânico do solo (SOC) para uso da terra inicial; (kg C ha-1) é o estoque de carbono orgânico do solo (SOC) para o uso da terra final; (kg N2O-N [kg N]-1) é o fator de emissão de N2O de insumos de nitrogênio; 44/28 (kg N2O [kg N2]-1) é a taxa das massas moleculares de N2O emitido e N2 armazenado, a qual é usada para converter N2O-N para N2O; 265 (kg CO2 [kg N2O]-1) é o potencial de aquecimento global de cem anos (GWP100) de N2O, de acordo com o IPCC (2014), usado para converter valores de emissão em quilogramas de CO2 equivalente ; R (kg C [kg N]-1) é a razão entre C e N; Ny (anos) é o período de estudo.

As emissões indiretas de N2O associadas ao LUC () são derivadas da perda de matéria orgânica do solo (Equação 8).

(8)

Onde, (kg C ha-1) é o estoque de carbono orgânico do solo (SOC) para uso da terra inicial; (kg C ha-1) é o estoque de carbono orgânico do solo (SOC) para o uso da terra final; (kg N [kg N adições]-1) é a fração total N adicionada à mineralizada em solos manejados em regiões onde ocorre lixiviação e escoamento; (kg N [kg N lixiviado e escoado]-1) é o fator de emissão para emissões N2O devido à lixiviação e escoamento de nitrogênio; 44/28 (kg N2O [kg N2]-1) é a taxa das massas moleculares de N2O emitido e N2 armazenado, a qual é usada para converter N2O-N para N2O; 265 (kg CO2 [kg N2O]-1) é o potencial de aquecimento global de cem anos (GWP100) de N2O, de acordo com o IPCC (2014), usado para converter valores de emissão em quilogramas de CO2 equivalente; R (kg C [kg N]-1) é a razão entre C e N; Ny (anos) é o período de estudo.

Para o cálculo das áreas da Equação 1, utilizou-se SIG, aplicando imagens Landsat 8 para a análise. A escolha das imagens levou em consideração a temporalidade e a resolução, além da cobertura de nuvens, já que a presença das mesmas prejudica a utilização. As imagens foram obtidas através do Centro de Estudos Geológicos dos Estados Unidos (United States Geological Survey - EROS).

A delimitação da área de estudo foi feita por meio das imagens selecionadas, no software ArcGIS, aplicando a técnica de falsa-cor, na qual utiliza-se a interpretação visual para identificar a área ocupada pela lama. Para tal criou-se um arquivo *shapefile*, formato vetorial georreferenciado, que serviu de base para as classificações das datas antes e a mais atual.

A falsa-cor foi realizada para ressaltar aspectos da vegetação, por meio de uma combinação das cores verde, vermelho e infravermelho (bandas 4, 5 e 6 do Landsat 8) (Konecny, 2014), que representam a informação espectral não perceptível ao olho humano (Piroli et al., 2002). Tal técnica é bastante utilizada para analisar e avaliar o desenvolvimento vegetal, pois contribui para a distinção de diferentes usos do solo (Abdul Sulemana, Quaye-Ballard, Ntori et al, 2020). Seu funcionamento ocorre por meio de segmentos de imagem, em que áreas homogêneas são identificadas com base em seu tom, cor, forma, tamanho e textura, seguindo o modelo de Esteves et al. (2016).

A partir das imagens obtidas no LANDSAT e demarcadas espacialmente a área de estudo, utilizou-se o software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) para realizar a segmentação delas. O processo visa criar polígonos de diferentes usos do solo, diminuindo o esforço manual. Isso é realizado a partir da construção de um banco de dados geográfico e associação dos dados da área de estudo. Posteriormente, ocorre o processamento das imagens e, finalmente, a segmentação, que integra dados no formato raster e vetorial (Barbosa et al., 2000).

Para identificação dos usos do solo para as datas de 14 de janeiro de 2019 e 11 de maio de 2021, utilizou-se o software QGis, onde criou-se a composição em falsa-cor e adicionou-se os *shapefiles* provenientes da segmentação. A classificação fez-se atribuindo um valor representativo para cada uso do solo na coluna do ano correspondente a cada feição, aplicando a técnica de interpretação visual em falsa-cor, com apoio de imagens de alta resolução disponibilizadas pelo *software* *Google Earth Pro*.

Após as classificações, realizou-se a projeção do *shapefile* para SIRGAS 2000 UTM 23S e criou-se uma coluna com a área em hectares, por meio da calculadora de Geometria. Em seguida, fez-se uma seleção por atributos para cada uso, aplicando a ferramenta de estatística da coluna para obter a soma das áreas das feições selecionadas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A delimitação da região afetada resultou em uma área de 305,63 ha, representando uma diferença de aproximadamente 5% em relação ao estudo de Pereira et al. (2019) sobre o rompimento da barragem de Brumadinho. Esta diferença deve-se à utilização de imagens Landsat, que possuem resolução de 30x30m. Para minimizar esta diferença, poderiam ser aplicadas imagens de maior resolução, porém, muitas vezes, pode-se dificultar a disponibilidade temporal ou acarretar custos de aquisição.

Os diferentes usos do solo para antes do acidente (14/01/2019) e na data mais atual (11/05/2021) são apresentados na Tabela 2. Para a primeira data, o uso predominante é de vegetação densa, representando 40,3% da área total. É importante enfatizar que a vegetação densa possui grande relevância ambiental, em função do grande acúmulo de CO2. Do ponto de vista social, verifica-se que a região possuía em janeiro de 2019, 11,81 ha de área urbanizada, que foram totalmente perdidos no acidente e, mesmo após 2 anos, não se observa indícios de habitação. Para a última data, percebe-se uma redução do quantitativo de diferentes usos, sendo predominante o percentual de áreas de com presença de rejeitos (84%). As poucas áreas de vegetação campestre (9,3%) localizam-se na região próxima ao Rio Paraopeba, onde concentram-se as ações de replantio da empresa.

Tabela 02: Áreas associadas aos diferentes usos do solo paras as datas imediatamente antes e mais atual do rompimento da barragem

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Uso | área (ha) em 14/01/2019 | área (ha) em 11/05/2021 | |
| Agricultura | 31,73 | | - |
| Água | 33,03 | | 11,41 |
| Área urbanizada | 11,81 | | - |
| Mineração | 92,17 | | 265,46 |
| Pastagem | 12,07 | | - |
| Vegetação campestre | 1,73 | | 28,46 |
| Vegetação densa | 123,08 | | - |

Dois anos após o acidente, a variedade de usos ainda é muito baixa, assim como a presença de áreas naturais. Para tal, são necessárias maiores ações de recuperação em uma área mais extensa, além de respeitar a biodiversidade local anterior. Os usos antrópicos agropecuários, por sua vez, estão inviabilizados por mais tempo, pois demandam uma qualidade do solo não mais existente.

As emissões de CO2 associadas ao LUC () foram obtidas aplicando os valores da tabela 1 nas equações 3, 4 e 5. As emissões diretas, indiretas e totais de N2O (, e ) foram calculadas a partir das equações 6, 7 e 8. A diferença nas emissões anuais de GEE por área (∆E) foram encontradas através da equação 1. Para esse estudo, Ny = 1 para imagem de 2019, a qual foi comparada em um período de tempo muito curto e Ny= 2,3 para imagem de 2021. Considerando que região de Brumadinho apresenta clima tropical úmido e solo argiloso de baixa atividade, os seguintes valores foram atribuídos seguindo as diretrizes do IPCC (2006): R=15; EF1 = 0,01; FCLEACH = 0,30; EF5 = 0,0075.

A tabela 3 apresenta as emissões associadas ao LUC (), assim como as parcelas que as compõem (, , , ) e a diferença nas emissões anuais de GEE por área (∆E). Na data logo posterior ao acidente (30/01/2019), considerou-se que houve uma perda total dos estoques de carbono por perda da vegetação, logo o total de emissões () nesse momento foi igual a zero. Já as emissões anteriores ao acidente (∆E) apresentam valores negativos, pois a diferença entre o estoque de carbono comparando os usos anteriores e o resultado da onda de rejeitos representa a perda dos mesmos. O contrário ocorre para o período após o acidente, onde as emissões têm valores positivos, devido à uma pequena recuperação da vegetação na região e consequentemente dos estoques de CO2 e N2O.

Tabela 03: Emissões anuais de GEE por área provenientes da mudança de uso da

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Uso inicial | Uso final |  |  |  |  |  | ∆E |
| P | Va | -231,33 | -15,27 | -3,43 | -18,70 | -250,03 | - 9,87 |
| C | Va | -361,50 | -12,66 | -2,85 | -15,50 | -377,00 | - 2,14 |
| A | Va | -100,92 | -7,64 | -1,72 | -9,36 | -110,28 | -11,45 |
| F | Va | -898,33 | -13,05 | -2,94 | -15,98 | -914,32 | -368,20 |
|  | Total | -1592,08 | -48,61 | -10,9 | -59,55 | -1651,63 | -391,70 |
| Va | C | 157,17 | 5,50 | 1,24 | 6,74 | 163,91 | 15,43 |

terra (LUC - Land Use Change)

Pela análise por hectare, o uso do solo que mais contribuiu para as emissões totais () foi o de floresta (55%), seguido pelo campestre (23%) e pastagem (15%). Para todos os usos de solo, a parcela de emissões de CO2 () representou a maior parte das emissões, totalizando 96,4% do . As emissões diretas de N2O () foram as parcelas mais expressivas nas emissões totais de N2O (), sendo o uso do solo de pastagem responsável por 31% do , seguido pelo uso de floresta (27%), campestre (26%) e agricultura (16%). A soma das emissões diretas de N2O para todos os usos corresponde a 2,9% das emissões totais, já as indiretas correspondem a 0,7%. No período posterior ao acidente, as emissões associadas à mudança de uso do solo () resultaram apenas do uso de solo campestre. As emissões de CO2 () representaram 95,9% das emissões totais (), enquanto que as emissões diretas () e indiretas () de N2O corresponderam a 3,4% e 0,8% respectivamente.

No período anterior ao acidente, a diferença nas emissões anuais de gases de efeito estufa (GEE) (∆E) foi de 392 t CO2 eq. ha-1 a-1, referindo-se às emissões perdidas. Já no período posterior, o ∆E foi de 15 t CO2 eq. ha-1 a-1, correspondendo à parcela das emissões de CO2 que foram recuperadas até 2021 devido a pequena área de vegetação regenerada.

Com o acidente, para toda a área de estudo, perdeu-se 0,1197 Mt CO2 eq/ano, onde 0,1125 Mt CO2 eq/ano foram somente de florestas, seguido por agricultura com 349,96 t CO2 eq/ano, 301,73 t CO2 eq/ano por pastagem e, por fim, 65,38 t CO2 eq/ano de campestre. Já para a recuperação, o total recuperado é de 471,48 t CO2 eq/ano, bem abaixo do encontrado para todos os usos anteriores.

A atividade mineradora é responsável pelas emissões de GEE, principalmente por conta da alteração no uso do solo demandada para seu desempenho. Essa liberação de gases é intensificada quando acontecem acidentes como o rompimento de barragens, em razão da área que fica ocupada pela lama de rejeitos, representando não somente um impacto grave no âmbito socioeconômico, mas também uma contribuição para o aquecimento global. Para minimizar tais impactos de maneira eficiente, são necessárias técnicas que visem reabilitar a área afetada (BALIEIRO et al., 2018), a qual pertence ao bioma Mata Atlântica, bem como a garantir o retorno dos diferentes usos os quais a área possuía anteriormente, como campestre, pastagem e floresta, sendo este o que obteve maiores taxas de armazenamento de carbono.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o acidente perdeu-se, principalmente, a floresta nativa densa, que, por ocupar anteriormente 40% da área, resultou em 94% das emissões ocorridas. Após dois anos, os valores encontram-se em 471,48 t CO2 eq/ano, o que representa apenas 0,4% da quantidade inicial.

A reabilitação de áreas degradadas é importante para retornar ao solo suas propriedades, bem como a estrutura vegetal, acelerando o acúmulo de biomassa e, consequentemente, o sequestro de carbono do solo. Com investimento em áreas de vegetação natural, como florestas, em menor prazo ocorrerá o restabelecimento do estoque de carbono e consequentemente a mitigação dos impactos gerados pelo desastre socioambiental.

**REFERÊNCIAS**

ABDUL, I., NTORI, C., AWOTWI, A., ADEYINKA, M., & MOORE, T. (2020). Location mapping of hydrothermal alteration using Landsat 8 data: a case of study in Prestea Huni Valley District, Ghana. International Journal, 9(1), 13-37.

BALIEIRO, F. D. C., COSTA, C. A., OLIVEIRA, R. B. D., OLIVEIRA, R. D., DONAGEMMA, G. K., ANDRADE, A. G. D., & CAPECHE, C. L. (2018). Carbon stocks in mined rea reclaimed by leguminous trees and sludge. Revista Árvore, 41.

BARBOSA, C., HESS, L., MELACK, J. & NOVO, E. M. L. M. Mapping amazon basin wetlands

through region growing segmentation and segmented-based classification JERS-1 data.

IX Simpósio Latino Americano de Percepcion Remota y Sistemas de Informacion

Espacial. p. 1165-1176, 2000. Anais.

CARVALHO, P. S. L. D., MESQUITA, P. P. D., REGIS, R. D. D., & MEIRELLIS, T. D. L. (2018). Sustentabilidade socioambiental da mineração. Mineração | BNDES Setorial 47, p. 333-390.

DE ARAUJO, R. A., DE SOUZA SILVA, J. L., DOS SANTOS CUGULA, J., PASCHOAL, J. P., ESTEVES, V. P. P., & MORGADO, C. D. R. V. (2021). Assessment of vegetation recomposition methods in a tropical forest using satellite images. Clean Technologies and Environmental Policy, 23(3), 797-810.

DE MENEZES, P. M. L, DO COUTO FERNANDES, M. Roteiro de cartografia. Oficina de Textos, 2016.

Departamento Nacional de Produção Mineral. DNPM. 2017. Anuário Mineral Brasileiro:

Principais Substâncias Metálicas. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017>.

ESTEVES, V. P. P., ESTEVES, E. M. M., BUNGENSTAB, D. J., LOEBMANN, D. G. D. S. W., DE CASTRO VICTORIA, D., VICENTE, L. E., ARAÚJO, O. Q. F., MORGADO, C. D. R. V. (2016). Land use change (LUC) analysis and life cycle assessment (LCA) of Brazilian soybean biodiesel. Clean Technologies and Environmental Policy, 18(6), 1655-1673.

FREITAS, C. M. D., BARCELLOS, C., HELLER, L., LUZ, Z. M. P. D. Desastres em barragens de mineração: lições do passado para reduzir riscos atuais e futuros. Artigo de Opinião, Rio de Janeiro, 20 jan. 2018.

IPCC. Climate Change 2014 - Syntesis Report. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 151 pp: [s.n.], 2014.

KONECNY, G. Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information systems. CRC Press, 2014

PEREIRA, L. F., DE BARROS CRUZ, G., GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. Journal of Environmental Analysis and Progress, p. 122-129, 2019.

PIROLI, E. L., BECKER, E. L. S., BOLFE, E. L., PEREIRA, R. S. (2002). Análise do uso da terra na microbacia do Arroio do Meio-Santa Maria-RS, por Sistema de Informações Geográficas e imagem de satélite. Ciência Rural, 32, 407-413.

POLIGNANO, M. V., LEMOS, R. S. Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba. Cienc. Cult., São Paulo, v. 72, n. 2, p. 37-43, Abr. 2020.

Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as metas do Brasil 1970 - 2018. SEEG Brasil. 2019. 33 p.

SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS. Resgate de DNA e indução de florescimento em Brumadinho. 2021. Disponível em: <https://sif.org.br/2021/03/resgate-de-dna-e-inducao-de-florescimento-em-brumadinho-2/>. Acesso em: 21 junho 2021.

1. *Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Recursos Hídricos, anaclarabrandao@poli.ufrj.br.* [↑](#footnote-ref-1)
2. *Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Recursos Hídricos, nschelen@poli.ufrj.br.* [↑](#footnote-ref-2)
3. *Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Recursos Hídricos, larissafreire31@poli.ufrj.br.* [↑](#footnote-ref-3)
4. *Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Recursos Hídricos,* [*resende.anacarolina@poli.ufrj.br*](mailto:resende.anacarolina@poli.ufrj.br)*.*

   *5* *Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Recursos Hídricos,* [*raissaa.araujo@poli.ufrj.br*](mailto:raissaa.araujo@poli.ufrj.br)*.*

   *6* *Pós-doutoranda em Engenharia ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Escola Politécnica, elisa.esteves@poli.ufrj.br* [↑](#footnote-ref-4)