

COBERTURA DE TERRA NA ÁREA DA BACIA DO RIO GUALAXO DO NORTE EM MARIANA-MG ANTES E DEPOIS DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS USANDO GOOGLE EARTH ENGINE

Douglas Modesto dos Santos¹

Andreza de Souza Dias¹

Fabrcio Alves de Pontes¹

Débora Silva Mendes Alves¹

Rafael Silva de Barros¹

1. Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909 (douglasmodesto@ufrj.br, andrezasdias@ufrj.br, rafael.barros@igeo.ufrj.br)

RESUMO

Desde o advento das primeiras Revoluções Industriais, é possível perceber um aumento significativo dos impactos ambientais oriundos das atividades de exploração dos recursos naturais. Apesar do desenvolvimento constante da tecnologia e da implantação de legislações ambientais, as “indústrias pesadas” ainda recorrem a técnicas que podem vir a causar grandes danos ao meio ambiente, principalmente em caso de acidentes. No Brasil, um dos exemplos mais recentes deste cenário ocorreu no ano de 2015, com o rompimento da barragem de rejeitos de minério de Fundão, em Mariana-MG, liberando milhões de metros cúbicos de materiais na bacia do Rio Doce e atingindo diretamente o subdistrito de Bento Rodrigues, causando devastação e impactos sociais, ambientais e econômicos das serras mineiras ao oceano Atlântico. Para abordar um evento de tal proporção, fez-se necessária a utilização de ferramentas que otimizassem o trabalho, como é o caso do sensoriamento remoto orbital, que se apresentou como um recurso vantajoso. Desta forma, este trabalho objetiva resgatar o cenário deste evento e, através da utilização de imagens orbitais, realizar uma comparação da cobertura do solo na área da bacia hidrográfica na qual está localizado o subdistrito Bento Rodrigues no período anterior e posterior ao rompimento da barragem. Para isso, foi utilizada a plataforma de processamento “Google Earth Engine”, na qual foram realizadas classificações com índice NDVI e com o algoritmo Random Forest.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; NDVI; Random Forest.

ABSTRACT

Since the advent of the first Industrial Revolutions, it's possible to perceive a significant increase of the environmental impacts resulting from the exploration of natural resources. Despite the constant development of technology and the implementation of environmental legislation, the “heavy industries” still resort to techniques that could cause great damage to the environment, especially in case of accidents. In Brazil, one of the most recent examples occurred in 2015, when the Fundão tailings dam, in Mariana, Minas Gerais, collapsed, releasing millions of cubic meters of materials in the Rio Doce watershed and striking directly the sub-district of Bento Rodrigues, causing devastation and social, environmental and economic impacts from the dam to the Atlantic Ocean. To approach such an event, it was necessary to use tools that could embrace the area and, in this context, orbital remote sensing presents itself as an advantageous resource. Therefore, this research aims to revisit the event scenario, and, through use of satellite images, make a comparison of the land cover in the area of the hydrographic basin in which Bento Rodrigues is located, before and after the Fundão Dam collapse. Thereunto, the Google Earth Engine will be used, in which classifications will be carried out with NDVI indexes and with the Random Forest algorithm.

Keywords: Remote Sensing; NDVI; Random Forest;

INTRODUÇÃO

Desde o advento das primeiras Revoluções Industriais, é possível perceber um aumento significativo dos impactos ambientais oriundos das atividades de exploração do meio ambiente. Apesar de décadas de desenvolvimento constante da tecnologia e a implementação de legislações ambientais, as “indústrias pesadas” (que trabalham com a extração e/ou transformação da matéria prima) ainda recorrem a técnicas que podem vir a causar grandes impactos ao meio ambiente, principalmente em caso de acidentes. No Brasil, essa realidade não é diferente. Desde o início do Século XXI, o país já sofreu alguns dos seus maiores acidentes ambientais da história nacional, como foi o caso do naufrágio da Plataforma P-36, em 2001 e do vazamento de milhões de barris de petróleo causado por uma exploração mal realizada, em 2011, ambos no mesmo local. Mais recentemente, em 2015 e em 2019, rompimentos em barragens de armazenamento de rejeitos de mineração em Mariana e em Brumadinho respectivamente, ambos em Minas Gerais, causando a morte de centenas de pessoas, além de prejuízos socioeconômicos e danos potencialmente irreparáveis às bacias hidrográficas dos próximos às barragens. Eventos como esse acabam assumindo grandes escalas sobre o espaço geográfico, sendo necessárias ferramentas que possibilitem analisar o evento através da escala necessária. Uma solução é a utilização do sensoriamento remoto, principalmente através de sensores orbitais. Essa prática permite a produção de imagens e mapas de cobertura e uso de solo de uma maneira bastante eficiente. Isto se deve não só à capacidade dos sensores em fornecer informações em bandas além do espectro visível, mas também pela praticidade na obtenção de imagens do mesmo local em diferentes momentos, possibilitando análises multitemporais.

Para a realização deste trabalho, o sensoriamento remoto foi usado para auxiliar na visualização dos impactos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana. Para o processamento das imagens, foi utilizada a plataforma *Google Earth Engine*. Além disso, foram realizados mapeamentos e classificações de cobertura e uso do solo a partir do NDVI e do algoritmo Random Forest. No fim, propôs-se uma comparação entre a condição da área de estudo em três momentos distintos: no período anterior e no período imediatamente posterior ao rompimento, e dois anos após o evento.

ÁREA DE ESTUDO

Como recorte espacial, utilizou-se a parte da área da bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte localizada dentro do município de Mariana. Essa área localiza-se a aproximadamente 110 km de Belo Horizonte, fazendo parte da microrregião geográfica metropolitana da capital mineira (IBGE, 2021). Assim como as outras áreas do Quadrilátero Ferrífero, a principal atividade econômica é a extração de minérios. A

hidrografia local gira em torno dos rios do Carmo, Gualaxo do Sul e Gualaxo do Norte, todos pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Doce, que ocupa toda a área do município. Apesar do Rio Gualaxo do norte ter sua nascente no município de Ouro Preto, grande parte de seu curso inicial, onde encontra seus primeiros afluentes, está localizado em Mariana. Com o fluxo de rejeitos de minério sendo despejados apenas 12km de sua nascente, 80% do curso do rio passou a ser inutilizável para qualquer exploração.

Rompimento da Barragem de Fundão

Um dos maiores empreendimentos da região é a Mina de Germano, operada pela mineradora Samarco. Até 2015, o complexo da mina contava com três grandes barragens construídas com o objetivo de acomodar rejeitos provenientes do processo de extração de ferro, sendo elas Germano, Fundão e Santarém. No dia 5 de novembro deste mesmo ano, a barragem de Fundão apresentou um vazamento na contenção, comprometendo o armazenamento no reservatório, e poucas horas depois ocorreu o colapso de sua estrutura.

O rompimento da barragem liberou aproximadamente 55 milhões de metros cúbicos de lama e rejeitos de mineração sobre o reservatório Santarém abaixo, ultrapassando sua capacidade de armazenamento e levando ao transbordamento da barragem. Em pouco tempo, a enorme quantidade de material que agora se movia através do leito do córrego de Santarém devastou a área central do subdistrito de Bento Rodrigues, localizado a menos de 3km da área das barragens. A velocidade do deslocamento da enxurrada e a falta de aviso prévio fizeram com que a população fosse atingida de surpresa, com a maior parte da área construída sendo arrasada pela lama. Pouco tempo depois, o fluxo levou à inundação e destruição de grande parte do subdistrito de Paracatu de Baixo, também em Mariana. Em apenas 15 minutos, a enxurrada havia percorrido aproximadamente 8 km à jusante do Córrego de Santarém e pouco tempo depois a lama havia chegado ao rio Gualaxo do Norte, atingindo diversos outros distritos e vilarejos e, após 16 dias, atingia o Rio Doce. Durante todo esse percurso, o fluxo causou danos à água, ao solo, à fauna e à flora, além da morte de diversas pessoas, danos à infraestrutura e prejuízos econômicos. Ao todo, 39 municípios entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo foram impactados diretamente pelo desastre, além das áreas costeiras afetadas após a chegada do fluxo ao Oceano Atlântico.

O recorte espacial utilizado pelo presente estudo abrange a parte da área da bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte localizada dentro do município de Mariana. É nessa bacia hidrográfica que fica localizado o Córrego Santarém, que recebeu o fluxo de

materiais oriundos do rompimento da barragem e que corre diretamente pelo subdistrito de Bento Rodrigues (Figura 1).



Figura 1. Área definida para o estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

REVISÃO CONCEITUAL

Sensoriamento Remoto e análises multitemporais

A prática do Sensoriamento Remoto é, conceitualmente, bastante variada. Essencialmente, é possível definir sensoriamento remoto como qualquer forma de obtenção de dados sem que haja contato direto entre o equipamento sensor e os objetos de estudo. Como exemplos pode-se citar a visão e as fotografias. Porém, tratando-se da análise de informações geoespaciais em grandes escalas geográficas, surge a necessidade de se usar aparelhos mais complexos, juntamente com a adequação dos conceitos.

Nesse contexto, surge a definição de sensoriamento remoto proposta por Novo (2008), na qual a autora aponta a importância não só dos sensores, mas também das linhas de informação e os veículos que transportam tais equipamentos, bem como sua funcionalidade.

“A utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra (...)” (NOVO, 2008)

O desenvolvimento dos sensores e de suas plataformas trouxe enormes avanços para o estudo dos fenômenos sobre a superfície. Atualmente, a utilização de sensores orbitais representa grande parte da fonte dos materiais usados nos estudos de

sensoriamento remoto devido a sua capacidade de oferecer uma variada gama de resoluções e pela facilidade na aquisição de imagens. Tal flexibilidade permite o aprofundamento de estudos dos eventos e processos através do tempo e espaço, ou seja, de análises multitemporais, como é o caso deste estudo.

NDVI

Como foi dito anteriormente, uma característica marcante dos sensores atuais é a capacidade de oferecer uma grande resolução espectral, ou seja, são capazes de detectar e processar diferentes bandas do espectro eletromagnético. As informações provenientes do sensoriamento em camadas fora do espectro da luz visível trouxeram novas formas de analisar os elementos sobre o espaço. A combinação de bandas com o objetivo de enfatizar certos elementos tornou-se uma prática recorrente no processamento de dados geoespaciais, e é dessa forma que estabeleceram-se os índices espectrais como o NDVI (para vegetação), NDWI (para corpos hídricos), NDBI (para áreas construídas), por exemplo.

Para esta pesquisa, foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, o NDVI. Esse índice utiliza a equação 1, ilustrada a seguir, na qual são combinados os valores de reflectância das bandas “Vermelho” e “Infravermelho Próximo (NIR)” do sensor em questão. O cálculo do NDVI pode ser lido como a subtração do valor de reflectância da banda NIR pelo valor da banda do Vermelho dividida pela soma dos valores dessas mesmas bandas.

Os resultados da equação podem variar de -1 a 1, tendo os menos valores atrelados às coberturas com vegetação pouco saudável ou sem vegetação, por outro lado, os valores altos representam vegetações saudáveis e/ou abundantes. É importante considerar que cada ambiente tem parâmetros específicos de valores sobre a vegetação que devem ser ponderados. Por exemplo, um valor considerado alto para o bioma da Caatinga pode ser considerado baixo para a Mata Atlântica.

A escolha deste índice é justificada pelo caráter da análise que foi proposta para o estudo. A superfície da área de estudo é composta majoritariamente por cobertura vegetal e, considerando a amplitude dos impactos sobre a superfície causados pelo rompimento da barragem e o fato do NDVI ser um índice focado na visualização da condição da vegetação, este se apresenta como uma forma viável de obtenção dos resultados.

Random Forest

O algoritmo de classificação escolhido para fins de testagem da plataforma e comparação de resultados foi o Random Forest. O Random Forest é um algoritmo de

aprendizado de máquina supervisionado que vem sendo usado comumente em estudos sobre uso e cobertura do solo, principalmente em questões de regressão e classificação (SRUTHI, 2021; IBM, 2022). A premissa principal do algoritmo é a criação de “árvores de decisão” que auxiliarão, estatisticamente, o aprendizado da máquina a fim de gerar diferentes classificações sobre a área de estudo.

Diferente das classificações pelo cálculo de índices, como nos exemplos acima, que priorizam as respostas do sensor a um tipo de cobertura, a classificação pelo Random Forest baseia-se na análise dos pontos de amostras fornecidos pelo usuário para a criação das classes de cobertura. No caso deste trabalho, devido ao fato das áreas construídas representarem uma parcela quase imperceptível da área de estudo, foram consideradas apenas as classes vegetação, água e lama.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foram selecionadas as imagens do sensor OLI, instalado no satélite Landsat 8. A coleção de imagens selecionada está disponível na própria plataforma do Google Earth Engine com o nome de “*USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1*”. A escolha deste sensor justifica-se pela melhor aplicação em análises que demandem média resolução espacial, pelas altas resoluções radiométrica e espectral, pela facilidade de acesso aos repositórios de imagens, e pela boa amplitude temporal dos dados, já que uma área imageada pela série Landsat recebe novas imagens a cada 16 dias, agregando a um repositório que recebe dados constantes há 50 anos (37 anos com a mesma resolução espacial).

Para obtenção das imagens, foram definidos: o recorte da área de estudo; o primeiro recorte temporal, correspondente ao período anterior ao rompimento; e os parâmetros de visualização, como o filtro de mediana para a coleção de imagens e o filtro de cobertura de nuvens.

Após a definição da primeira imagem, a “imagem base”, foi possível definir os pontos de amostra para as classificações que se sucederam. Para essa etapa, foram definidas quatro classes: vegetação densa, vegetação gramínea, lama e água. É importante ressaltar que cada recorte principal demandou uma coleção própria de pontos de amostra.

Posteriormente, foi introduzido o cálculo do NDVI no qual, no caso do Landsat-8, os valores aplicados na equação do índice são correspondentes aos das bandas 5 (NIR) e 4 (Vermelho). Para fins de demonstração, o resultado do índice sobre a imagem foi associado a uma paleta de cores. Também a partir desse índice, foi realizada a primeira classificação de cobertura do solo. Para isso, foram definidos intervalos correspondentes às classes desejadas.

O próximo passo foi a configuração do algoritmo Random Forest, utilizando as bandas de 2 a 6 e o valor resultante do NDVI, além das classes definidas nas amostras. Definiu-se também os recortes de amostra para treinamento e teste do algoritmo (70% para treinamento e 30% para teste) e o número de árvores para o classificador (200). Na classificação também foram introduzidos os comandos de exibição da matriz de erro e da acurácia e, por fim, associou-se os resultados das classes a uma paleta de cores.

O último comando do script foram os cálculos de área das classes obtidas pelos resultados do NDVI e do Random Forest. No caso do cálculo pelo NDVI, a função utilizada no script funciona através de uma classificação binária, o que significa que as classes serão geradas considerando o recorte acima ou abaixo de um determinado valor classificatório. Devido ao seu caráter binário, esse tipo de classificação geraria uma sobreposição de classes, comprometendo o resultado. Para solucionar esse problema, foi feita uma subtração dos recortes de uma classe após a outra, possibilitando a classificação de diferentes grupos dentro do espectro de resultados.

Uma vez que o primeiro script principal foi construído, testado e demonstrou resultados satisfatórios, foi possível então adaptá-lo para os parâmetros correspondentes aos dois outros recortes temporais estudados, completando os três scripts principais. Os primeiros dois recortes abrangeram os seis meses anteriores e posteriores ao rompimento da barragem, já o terceiro recorte abrangeu os mesmos meses, porém dois anos após o evento. A escolha do terceiro recorte justifica-se pela iniciativa de analisar o estado do processo de recuperação da cobertura do solo com o passar do tempo.

RESULTADOS

As primeiras imagens resultantes dos scripts principais (imagens A, B e C da figura 2), chamadas de “imagens base”, resultaram de uma composição falsa-cor entre as bandas 6, 5 e 4. A partir dessas imagens foram obtidos os pontos da amostra que foram usados para as classificações e mapeamentos de cobertura do solo tanto através do NDVI (imagens D, E e F), como através do algoritmo Random Forest (Imagens G, H e I), ambos exibindo os resultados através das quatro classes pré-determinadas (Figura 2).

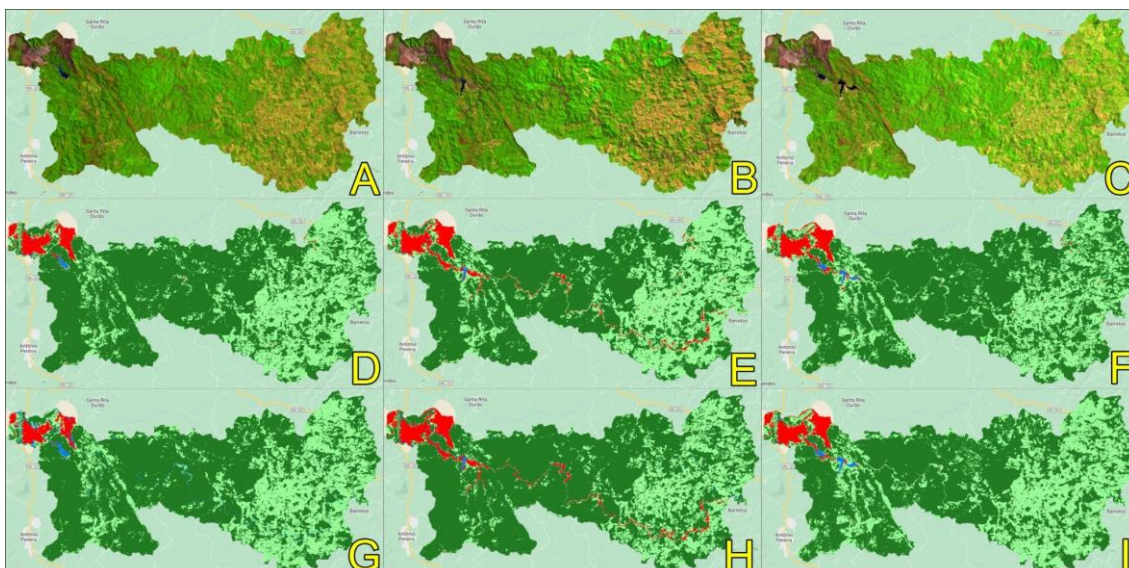


Figura 2. Imagens resultantes dos scripts. Fonte: Elaborado pelo autor

Além das imagens, os parâmetros computados nos scripts também forneceram os resultados dos cálculos de área utilizando tanto a classificação pelo NDVI (Tabela 1) quanto pelo Random Forest (Tabela 2). Através do cálculo e da conversão do número de pixels contidos em cada classe, foi possível determinar as áreas em quilômetros quadrados.

TABELA 1: RESULTADOS DOS VALORES DO CÁLCULO DA ÁREA ATRAVÉS DO NDVI, EM KM²

Classe de Cobertura	Recorte Temporal 1 (05/11/14-04/11/15)	Recorte Temporal 2 (05/11/15-05/11/16)	Recorte Temporal 3 (05/08/17-05/02/18)
Vegetação densa	253,85	264,29	236,33
Vegetação gramínea	127,61	108,73	139,41
Lama	6,82	15,40	11,55
Água	0,69	0,55	1,68
Total	388,97	388,97	388,97

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Tabela 2: RESULTADOS DOS VALORES DO CÁLCULO DA ÁREA ATRAVÉS DO RANDOM FOREST, EM KM²

Classe de Cobertura	Recorte Temporal 1 (05/11/14-04/11/15)	Recorte Temporal 2 (05/11/15-05/11/16)	Recorte Temporal 3 (05/08/17-05/02/18)
Vegetação densa	246,99	272,78	300,10
Vegetação gramínea	130,26	95,99	75,97
Lama	7,85	17,71	11,82
Água	3,87	2,49	1,08
Total	388,97	388,97	388,97

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Por fim, com as amostragens e a utilização do NDVI e do algoritmo Random Forest, foram obtidas as taxas de acurácia com base na matriz de erro. As acurácias do Random Forest ficaram sempre acima de 90%.

CONCLUSÃO

A análise das imagens de classificação tanto do NDVI quanto do Random Forest exibem uma clara diferença da cobertura do solo na região do subdistrito de Bento Rodrigues e em toda bacia do rio Gualaxo do Norte no período anterior e posterior ao rompimento da barragem. É necessário continuar o estudo para confirmação dos resultados, mas entende-se que a classificação pelo Random Forest, por sua maior robustez, apresenta os valores mais corretos. Comparando o recorte 2 com o recorte 3, percebe-se que mesmo com a diminuição da cobertura de lama no decorrer dos anos, o cenário ainda se encontra bastante alterado quando comparado ao recorte 1.

O local e o tamanho da área de estudo demandou a utilização de uma composição de imagens a fim de gerar os produtos de visualização e para o cálculo das áreas. Foram feitas tentativas de aumentar o rigor do filtro de cobertura de nuvens, porém não haveriam imagens disponíveis para tal recorte temporal no catálogo e a área de estudo ficaria com imageamento incompleto. Num primeiro momento, pretendeu-se usar as imagens do ano seguinte ao evento (2016), porém, devido a essas limitações, utilizou-se as imagens do ano de 2017, nas quais não foram encontrados problemas.

Ainda em relação às imagens resultantes das classificações de cobertura, foi possível notar uma diferença considerável entre as duas classes de cobertura vegetal entre os dois primeiros recortes temporais, principalmente nas imagens a partir da classificação pelo Random Forest (Imagens G e H). Avaliando a condição da cobertura através das demais imagens e, principalmente, a semelhança com a imagem do terceiro recorte temporal (imagem I), considera-se que essa brusca variação justifica-se pela diferença nas estações do ano nas três imagens. Ao abordar coberturas vegetais, é importante considerar o regime de pluviosidade presente no momento em que a imagem foi obtida pelo sensor. No caso do presente estudo, o primeiro recorte, antes do rompimento da barragem, foi representado por uma composição que abrangia os meses de maio a novembro, meses mais secos. Já o segundo recorte temporal, após o rompimento e um ano após o rompimento, abrangem os meses da estação chuvosa do município de Mariana, com média de 278 mm de chuva e 15 dias chuvosos por mês (CLIMATE-DATA, 2022).

Ainda que aparente nas imagens e nos valores dos cálculos de área (Tabela 3), essa diferença não afetou a análise das mudanças de cobertura do solo causadas pelo rompimento da barragem de Fundão, o foco do estudo. Ao considerar as classes “vegetação densa” e “vegetação gramínea” como uma única classe “Vegetação”, percebe-se que os cálculos de área tiveram resultados consistentes e bem semelhantes entre os dois parâmetros de classificação. Como ilustrado na tabela 4, apenas duas

classes de cobertura apresentaram diferença maior que 1% entre os dois métodos: as classes “Lama” e “Vegetação”, quando comparadas no primeiro recorte temporal.

TABELA 3: ÁREA DE COBERTURA VEGETAL, EM KM²

Classe de Vegetação	NDVI			Random Forest		
	Recorte Temporal 1	Recorte Temporal 2	Recorte Temporal 3	Recorte Temporal 1	Recorte Temporal 2	Recorte Temporal 3
Densa	253,84	253,45	236,24	246,99	272,86	300,1
Gramínea	127,61	108,73	139,41	130,26	95,99	75,97
Total	381,45	362,18	375,65	377,25	368,85	376,07

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

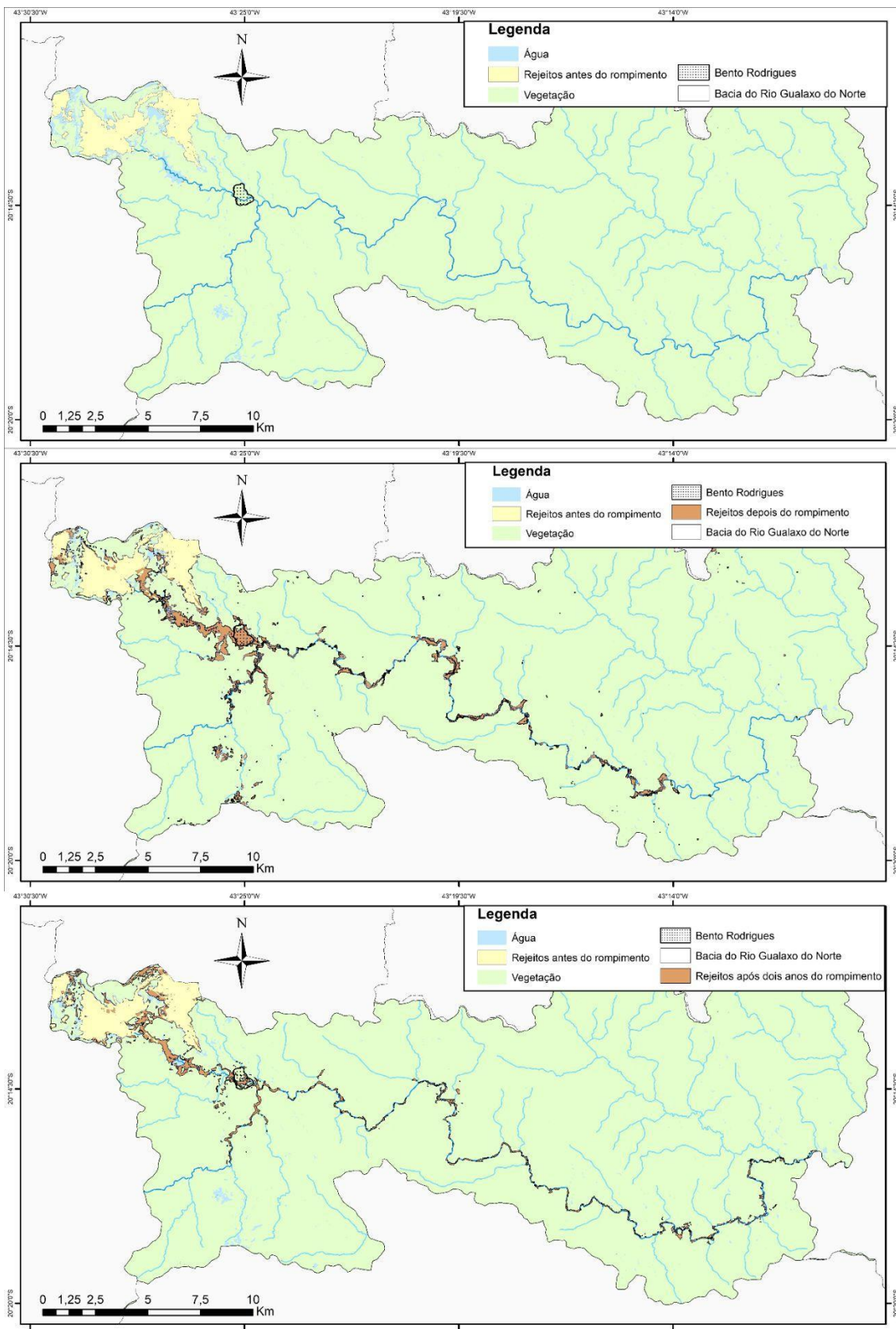
TABELA 4: RELAÇÃO DAS ÁREAS DE COBERTURA DAS CLASSES EM RELAÇÃO A ÁREA DE ESTUDO, EM %

Classe de Cobertura	NDVI			Random Forest		
	Recorte Temporal 1	Recorte Temporal 2	Recorte Temporal 3	Recorte Temporal 1	Recorte Temporal 2	Recorte Temporal 3
Vegetação	98,07	95,8	96,6	96,99	94,81	96,68
Lama	1,75	3,96	2,97	2,02	4,55	3,04
Água	0,18	0,15	0,43	0,99	0,64	0,28
Total	100	100	100	100	100	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

A partir da análise dos cálculos de área, fica perceptível que após o rompimento da barragem que a cobertura de lama e rejeitos sobre a bacia do rio Gualaxo do Norte cresceu significativamente, quase dobrando de tamanho. Por outro lado, após o rompimento da barragem, a cobertura de água diminuiu para menos da metade da cobertura original. Já a cobertura de vegetação manteve-se estável, com pouca variação, principalmente comparando o primeiro recorte ao terceiro.

Outra mudança que fica evidenciada ao comparar os recortes temporais, é o processo de recuperação da cobertura do solo. Após o rompimento da barragem, o fluxo de lama causou a destruição de grande parte da área junto do rio, incluindo infraestrutura e áreas construídas, corpos d'água e a mata ciliar. Porém, no período correspondente ao terceiro recorte temporal, ainda que não tivesse voltado aos valores originais, notou-se uma diminuição da cobertura de lama sobre a bacia (Figura 3).



Autores: Santos; Dias (2020)
 Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000
 Projeção: UTM



Figura 3. Comparação da cobertura de lama na bacia do rio Gualaxo do Norte-MG. Fonte: Elaborado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização das montagens dos scripts, testes, elaboração das imagens e dos cálculos de área, pode-se dizer que os objetivos deste trabalho foram cumpridos. Primeiramente, a plataforma Google Earth Engine mostrou-se bastante efetiva para realização desse tipo de estudo. A utilização de uma plataforma de processamento *on-line*, com armazenamento feito a partir de servidores externos, exime a necessidade da compra e/ou posse de *softwares* de geoprocessamento e máquinas de alto desempenho que na maioria possuem valor elevado. A capacidade de representação precisa dos dados pela plataforma foi registrada também quando avalia-se os valores da matriz de erro e da acurácia, essa última registrando mais de 90% em todos os scripts elaborados. Vale reiterar também sobre as vantagens do uso de imagens provenientes de sensores orbitais para estudo de análises multitemporais. A consistência da linha Landsat na obtenção dos dados espaciais permitiu que as composições de imagens que foram usadas neste trabalho pudessem ser montadas mantendo a mesma precisão geométrica e as mesmas resoluções espacial, radiométrica e espectral para todos os recortes temporais. Como foi dito anteriormente, a escolha das imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8 justificou-se pela aptidão desse equipamento para análises multitemporais de média escala. Apesar do trabalho ter mostrado bons resultados, cabe a proposta de enriquecimento como uma tentativa de melhorar ainda mais em estudos futuros.

Deve-se mencionar que a resolução espacial do sensor OLI (30m) apresenta alguma limitação para a visualização das feições presentes na área de estudo, principalmente no primeiro recorte temporal, no qual os leitos dos rios ainda encontravam-se preservados e em sua largura original, o que ocasionava certa inconsistência visto que um pixel poderia abrigar mais de uma classe de cobertura. Uma forma encontrada para tentar contornar esse problema foi o aumento da quantidade de pontos de amostra utilizados para o treinamento dos classificadores de cobertura do solo. Essa solução permitiu resultados positivos com o andar do estudo, porém, em estudos futuros, a utilização de um sensor com uma resolução espacial maior pode vir a trazer dados ainda mais precisos para a classificação e cálculos de área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, H. Tsunami de lama tóxica, o maior desastre ambiental do Brasil. EL PAÍS, Resplendor, 31 dez 2015. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2015/12/30/politica/1451479172_309602.html>. Acesso em: 01 ago 2021.

Barragem se rompe, e enxurrada de lama destrói distrito de Mariana. G1 Minas Gerais, Belo Horizonte, 11 nov 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragem-de-rejeitos-se-rompe-em-distrito-de-mariana.html>>. Acesso em: 01 ago 2021.

CLIMATE-DATA. Dados climatológicos para Mariana. CHUVA (mm) 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/mariana-25091/> Acesso em: 10 mar 2022.

DO VALE, J. H.; Melo, R. Barragem que se rompeu passava por obras, afirma Samarco. Jornal Estado de Minas, Belo Horizonte, 10 nov. 2015.

GOOGLE EARTH ENGINE. PLATFORM. Disponível em: <https://earthengine.google.com/platform/>. Acesso em: 4 mar 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Organização do Território. Divisão Territorial Brasileira, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/23701-divisao-territorial-brasileira.html?=&t=o-que-e> . Acesso em 02/03/2022.

MENEZES, P. M. L.; COELHO NETTO, A. L. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1999, Recife. XVII CIPA, 1999, Recife. XIX Congresso Brasileiro de Cartografia / XVII CIPA, 1999. p. 08-14.

OLIVEIRA, N. Desastre em Mariana é o maior acidente mundial com barragens em 100 anos. Agência Brasil, Brasília. Disponível em <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-01/desastre-em-mariana-e-o-maior-acidente-mundial-com-barragens-em-100-anos>>. Acesso em; 01 ago 2021

SRUTHI, E. R. UNDERSTANDING RANDOM FOREST. Disponível em: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/#:~:text=Random%20forest%20is%20a%20Supervised,average%20in%20case%20of%20regression>. Acesso em: 6 mar 2022.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). LANDSAT 8. Disponível em: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con. Acesso em: 01 ago 2021