

---

---

# ANÁLISE DO DESASTRE EM MARIANA ATRAVÉS DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

---

---

**Erika de Oliveira Barros**  
**Sergio Vicente Denser Pamboukian**  
Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

## Resumo

O uso de novas tecnologias para o monitoramento ambiental e a análise de informações geoespaciais vêm crescendo de modo acelerado. Os *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas, em conjunto com as imagens obtidas por meio de Sensoriamento Remoto, permitem a análise detalhada de mudanças ocorridas na superfície terrestre. Este artigo utiliza a Classificação Supervisionada de imagens de satélite para analisar as consequências do desastre ambiental ocorrido em 2015 com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, localizada na cidade de Mariana, em Minas Gerais, Brasil. O estudo analisa as imagens da área afetada antes e depois do evento. As imagens classificadas permitem ver em detalhes o caminho percorrido pela lama e delimitar as áreas afetadas.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento. Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Barragens de rejeitos.

# 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diversas tecnologias para a coleta e a análise de informações geoespaciais vêm sendo desenvolvidas, além de tecnologias mais antigas, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG), que têm sido aprimoradas. O SIG surgiu na década de 1960 e, desde então, sua evolução e uso crescem intensamente. Como exemplo, podemos citar o aplicativo Google Earth, que contém diversas informações geográficas como imagens geradas por satélites, sistemas viários, divisão política, coordenadas geográficas e dados topográficos, entre outras (LIMA; PONS; LIMA, 2009).

Esse tipo de tecnologia tem se tornado relevante em muitos segmentos. Como exemplo, podemos citar o acompanhamento das mudanças do meio ambiente – a natureza é fundamental para o equilíbrio ecológico e a quebra desse equilíbrio pode gerar sérios prejuízos ambientais, como o ocorrido em novembro de 2015 com a ruptura de uma barragem de rejeitos em Minas Gerais, na cidade de Mariana, que arrasou rios e povoados e causou danos irreparáveis.

Por meio da análise de imagens georreferenciadas geradas por satélites na região de Mariana, utilizando uma técnica conhecida como Classificação Supervisionada, é possível explorar os locais atingidos pela lama de rejeitos e analisar os danos causados pelo seu deslocamento por rios e cidades. A Classificação Supervisionada permite o reconhecimento de áreas distintas de uma imagem de satélite por meio da segmentação em classes específicas, como vegetação, água, lama, área urbanizada e nuvens, entre outras. Seu processo é feito a partir da seleção manual de algumas amostras e a geração da Assinatura Espectral de cada classe. Em seguida, é realizada a classificação *pixel a pixel* da imagem, através do reconhecimento da Assinatura Espectral.

Dessa maneira, o objetivo deste artigo é realizar a Classificação Supervisionada de imagens de Sensoriamento Remoto da região próxima ao rompimento da barragem de rejeitos de Mariana/MG, para identificar e analisar os impactos gerados pelo evento.

O estudo detalhado de regiões por meio de imagens de Sensoriamento Remoto, utilizando apenas a análise visual humana, está sujeito a diversos erros. Por esse motivo, a Classificação Supervisionada semiautomática é uma ferramenta que permite a análise e a segmentação de maneira adequada das diversas classes que compõem a imagem, tornando a análise mais precisa. Neste artigo, será utilizado um Sistema de Informações Geográficas gratuito, o QGIS, para a geração de mapas temáticos e a análise de imagens, e também o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), para a realização da Classificação Supervisionada.

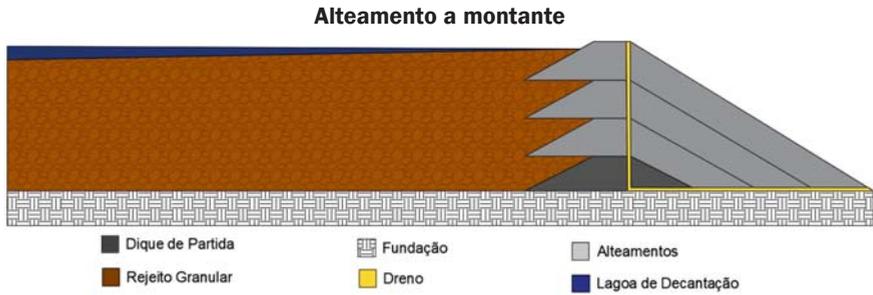
## 2 BARRAGENS DE REJEITOS E O DESASTRE EM MARIANA

### 2.1 Barragens de rejeitos

Com a finalidade de reter e depositar todos os resíduos gerados pela produção de minério e reduzir os impactos causados pela mineração, são projetadas e construídas barragens de rejeitos, que impedem que esses rejeitos sigam diretamente para os rios e contaminem o ecossistema aquático, causando prejuízos irreparáveis. Projeta-se então a vida útil dessas barragens de acordo com a quantidade de minério que se pretende retirar de determinado local. Quando uma mineradora decide expandir a exploração desses minérios, é necessário ampliar a vida útil da barragem para aumentar sua capacidade ou projetar uma nova barragem. Apesar de as duas opções serem tecnicamente viáveis, a segunda gera maior impacto ambiental, pois será necessário utilizar uma área ainda não impactada para a construção da nova barragem (MACHADO, 2007).

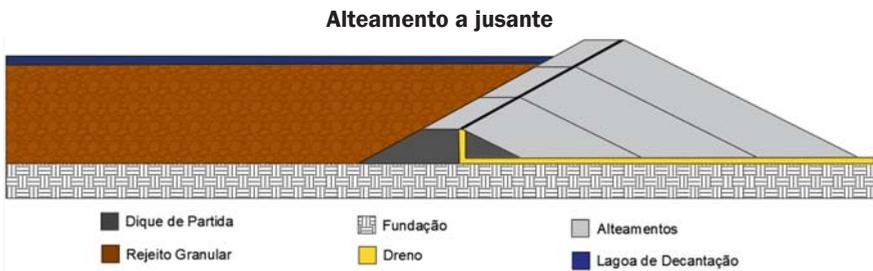
Lozano (2006) afirma que os resíduos sólidos são um dos maiores responsáveis pelo impacto ambiental nas atividades mineradoras. Para cumprir exigências ambientais, um dos principais objetivos é o tratamento e o armazenamento desses rejeitos, visando minimizar os custos e maximizar a segurança, já que a disposição desses resíduos é vista como um custo adicional sem retorno dentro do projeto.

Existem três métodos de execução para barragens de rejeitos: a jusante, a linha de centro e a montante – esta foi utilizada na barragem que se rompeu em Mariana. As Figuras 1, 2 e 3 ilustram esses métodos. Segundo Araújo (2006), a escolha de um ou outro método de execução dependerá de uma série de fatores, como: tipo de processo industrial, características geotécnicas, nível de produção de rejeitos, necessidade de reserva de água, necessidade de controle de água percolada, sismicidade, topografia, hidrologia, hidrogeologia e custos envolvidos. No entanto, como as barragens de montante têm mostrado mais facilidade de execução e maior viabilidade econômica, elas têm sido adotadas preferencialmente pelas empresas mineradoras.



**Figura 1** Método a montante utilizado na barragem que se rompeu.

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 2** Método a jusante.

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 3** Método linha de centro.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os materiais retidos em cada barragem dependem do tipo de mineradora. Muitas vezes, esses materiais contêm substâncias contaminantes e de alta toxicidade, e, portanto, é necessário definir os riscos durante o projeto e ter o nível de segurança adequado durante a operação, considerando que o rompimento de uma barragem é catastrófico.

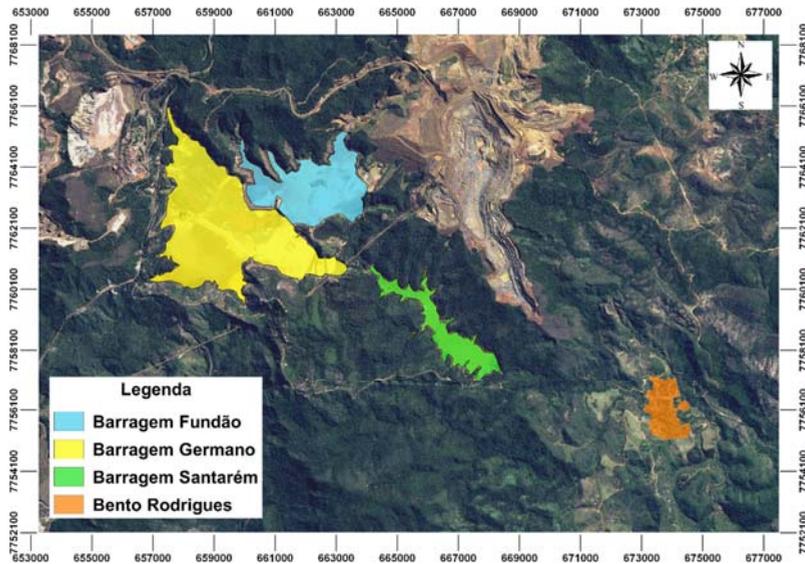
Esse tipo de barragem necessita de monitoramento contínuo, até depois de desativada, utilizando todos os recursos necessários para garantir a segurança tanto das pessoas quanto do meio ambiente.

## 2.2 O desastre em Mariana

O rompimento de qualquer barragem causa impactos ambientais catastróficos, pois elas são dimensionadas para imensos volumes de água. Em 5 de novembro de 2015, aconteceu um dos maiores e mais impactantes acidentes no Brasil: a ruptura de uma barragem de rejeitos no município de Mariana, distrito de Santa Rita Durão (MG). De acordo com Zalis (2015), o desastre atingiu grandemente o subdistrito de Bento Rodrigues, causando consequências descomunais, destruindo povoados, contaminando rios e córregos e matando grande parte do ecossistema aquático de muitos locais.

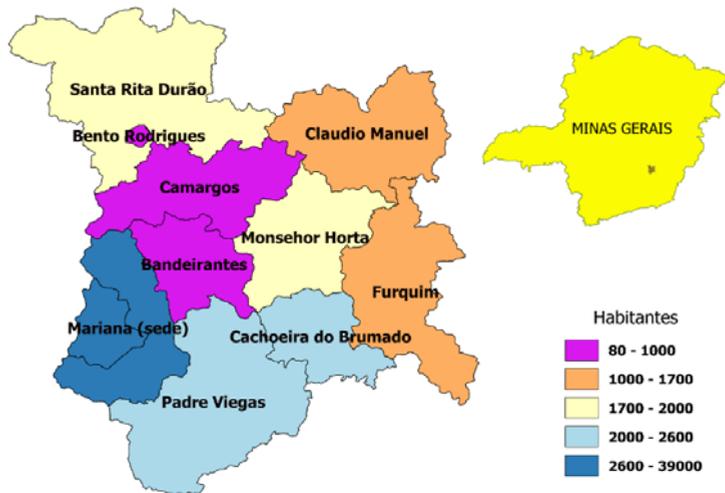
Na região, existiam três barragens de propriedade da mineradora Samarco: Germano, Fundão e Santarém, como ilustra a Figura 4. Na época, rompeu-se a barragem de Fundão, atingindo o Rio Doce, que abastece mais de meio milhão de pessoas, junto com o Rio Gualaxo do Norte e o Rio do Carmo. O Rio Gualaxo do Norte drenou os resíduos da mineração, permitindo que a lama percorresse muitos quilômetros até desembocar no mar do Espírito Santo, onde o Rio Doce tem sua foz. Segundo Zalis (2015), foram despejados 62 bilhões de litros de rejeitos, o equivalente a 25 mil piscinas olímpicas, que levaram pouco mais de duas semanas para percorrer 879 quilômetros até desaguar no mar, na altura da cidade capixaba de Linhares. Nesse caminho, foram soterradas 120 nascentes, pelo menos 12 pessoas vieram a óbito, outras 600 perderam suas casas e mais de 300 mil pessoas tiveram o abastecimento de água prejudicado.

Baseada em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a Figura 5 evidencia a quantidade de pessoas que habitava em cada um dos distritos pertencentes ao município de Mariana, inclusive a população de aproximadamente 600 pessoas de Bento Rodrigues, que foi o local mais devastado pelos rejeitos.



**Figura 4** Localização das barragens e subdistrito de Bento Rodrigues.

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 5** População de Bento Rodrigues e outros subdistritos de Mariana.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017).

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utiliza basicamente três tipos de tecnologias: o Geoprocessamento, o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite Systems* – GNSS). Os sistemas GNSS (GPS, GLONASS e outros) permitem a localização de qualquer elemento sobre o globo terrestre com grande precisão, a partir de coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), por exemplo. O Sensoriamento Remoto permite a obtenção de imagens da superfície terrestre a partir de sensores. O geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para obter e analisar dados espaciais (PAMBOUKIAN, 2016).

A geração de mapas e a análise de informações geoespaciais pode ser feita por meio de um *software* de SIG, por exemplo, o QGIS ou o ArcGIS.

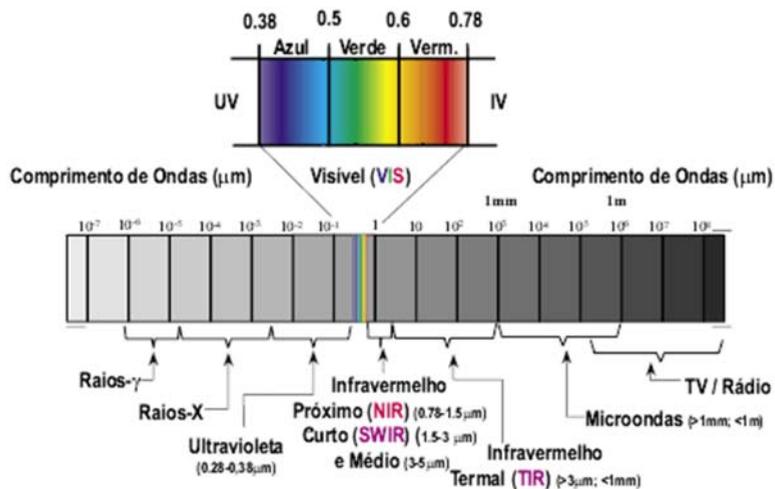
### 3.2 Sensoriamento Remoto

Rudorff (2016), Figueiredo (2005) e diversos profissionais dessa área de estudo definem o Sensoriamento Remoto como uma tecnologia que utiliza sensores imageadores (a bordo de satélites, por exemplo) para coletar automaticamente informações sobre a superfície terrestre, sem qualquer conexão física com os elementos em terra, apenas por interações de radiação eletromagnética (REM) – a luz do Sol, por exemplo, é uma REM. Parte da REM é absorvida pelos elementos em terra e parte é refletida, sendo captada pelos sensores. A partir da REM em diversos comprimentos de onda (espectro), são produzidas imagens de Sensoriamento Remoto em diversas bandas a partir da intensidade de reflectância de cada superfície.

Segundo Meneses e Almeida (2012), em média, 47% do fluxo que incide na superfície terrestre é absorvido pelos materiais da superfície, 37% é refletido pela Terra (incluindo nuvens e atmosfera) e 17% é absorvido pela atmosfera. A absorção é o efeito mais prejudicial ao Sensoriamento Remoto, pois impede que os sensores obtenham imagens da superfície terrestre.

Cada objeto possui capacidade de refletir ou absorver REM em diferentes comprimentos de onda. Esse comportamento, chamado Assinatura Espectral, torna possível a identificação dos diferentes tipos de materiais que compõem a superfície terrestre (vegetação, solo, água etc.).

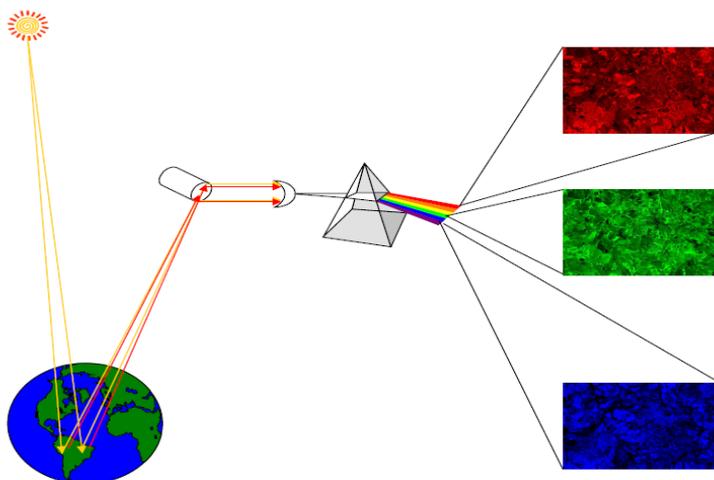
Meneses e Almeida (2012) e Figueiredo (2005) afirmam que a resolução espectral do sensor depende do tamanho da faixa espectral de cada banda (intervalo de comprimento de onda) e do número de bandas existentes nele. O satélite LANDSAT-8, por exemplo, possui nove bandas, já o satélite SPOT-6 possui cinco bandas. Cada uma das bandas é definida por um intervalo de comprimentos de onda existente no espectro eletromagnético, como raios gama, raios X, ultravioleta, visível (azul, verde e vermelho), infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas, infravermelho médio, infravermelho termal, micro-ondas, rádio e áudio. A banda do Azul Visível, por exemplo, possui intervalo de comprimento de onda entre  $0,38\mu\text{m}$  e  $0,5\mu\text{m}$ , como pode ser observado na Figura 6:



**Figura 6** Bandas e comprimentos de onda.

Fonte: Souza Filho (2004).

Para que o olho humano possa diferenciar e identificar objetos, por exemplo, em uma fotografia, é utilizada uma combinação de bandas com os comprimentos de onda existentes no espectro visível da luz. Em geral, é feita a combinação de três bandas espectrais: vermelha (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*), sendo essa combinação conhecida como RGB. A intensidade de REM refletida por essas bandas é armazenada em tons de cinza, as quais podem ser combinadas por *softwares* para exibir a imagem com suas cores reais (Figura 7):



**Figura 7** Composição de bandas.

Fonte: Figueiredo (2005).

As bandas que estão fora do espectro visível de luz também são armazenadas em tons de cinza de acordo com a intensidade de reflectância e podem ser mapeadas para uma das cores (R, G ou B) para se tornarem visíveis. A escolha da combinação ideal dessas bandas para a geração de imagens depende do estudo a ser realizado e das características da superfície terrestre que precisam ser consideradas.

Conforme Meneses e Almeida (2012), um dos principais fatores determinantes da qualidade de uma imagem de Sensoriamento Remoto é a sua resolução espacial, que é definida pelo tipo de sensor presente em cada satélite. O satélite LANDSAT-8, por exemplo, possui sensores com resolução espacial de 30m, ou seja, cada *pixel* da imagem equivale a uma área de 30m x 30m. Já o satélite Resourcesat-2 contém três sensores com diferentes resoluções, um com 56m, outro com 23,5m e outro com 5,8m de resolução. O satélite SPOT-6 possui sensores com resolução de 1,5m. Quanto maior for a resolução da imagem, menor será o tamanho do *pixel*, melhor será a qualidade da imagem e o resultado da classificação da imagem e maior será a precisão das análises a serem executadas.

### 3.3 QGIS e a classificação supervisionada

O QGIS (anteriormente conhecido como “Quantum GIS”) é um *software* de Sistema de Informações Geográficas, livre/*open source*, multiplataforma, que provê a visualização, a edição e a análise de dados georreferenciados. O QGIS permite que o usuário crie mapas com várias camadas em diversos formatos e para diferentes usos

a partir de imagens Matriciais (*raster*) e/ou imagens Vetoriais. Os dados vetoriais são armazenados em feições, como pontos, linhas ou polígonos, no formato *shapefile*. Diferentes tipos de imagens *raster* são suportadas e o *software* tem capacidade de georreferenciar imagens (OSGEO, 2017).

O QGIS possui complementos (*plugins*) desenvolvidos para adicionar funcionalidades ao sistema, como para fazer o georreferenciamento de imagens, acessar mapas *online*, efetuar associação de um par de coordenadas X e Y a determinado endereço, editar informações da tabela de propriedades (também conhecida como tabela de atributos) de um arquivo no formato *shapefile*, entre outras tantas funções. Um desses complementos, relevante para o presente estudo, é o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), que realiza a Classificação Supervisionada. A Classificação Supervisionada é o processo de segmentar uma imagem, com bandas espectrais distintas, em regiões (classes) que sejam de interesse. São coletadas amostras e criadas Assinaturas Espectrais para cada classe. A partir das assinaturas, é possível classificar a imagem por completo, identificando regiões com as mesmas características.

As ferramentas disponíveis no SCP realizam o pré-processamento de imagens de Sensoriamento Remoto, o pós-processamento de classificações e a álgebra de mapas. Com o SCP, é possível criar áreas amostrais, denominadas *Regions of Interest* (ROIs), de forma rápida e salvá-las em formato *shapefile*. As Assinaturas Espectrais são calculadas automaticamente e podem ser visualizadas graficamente. Também podem ser calculadas as distâncias espectrais entre as assinaturas, as quais podem ser exportadas ou importadas de fontes externas, sendo possível acessar a biblioteca da United States Geological Survey (USGS) por meio desse *plugin* (ARAÚJO, 2006).

---

## 4 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso tem como finalidade realizar a Classificação Supervisionada de imagens de Sensoriamento Remoto por meio do *software* QGIS 2.14, para mensurar parte das mudanças ocorridas em Mariana após a falha na barragem de Fundão no distrito de Santa Rita Durão, analisando o trajeto, o espalhamento e a área afetada pela lama. As imagens utilizadas são do satélite SPOT-6, que possui resolução espacial de 1,5m, captadas entre os dias 14 de junho e 6 de novembro de 2015, respectivamente, que retratam a região antes e depois do rompimento. As imagens foram fornecidas gratuitamente pela empresa ENGESAT.

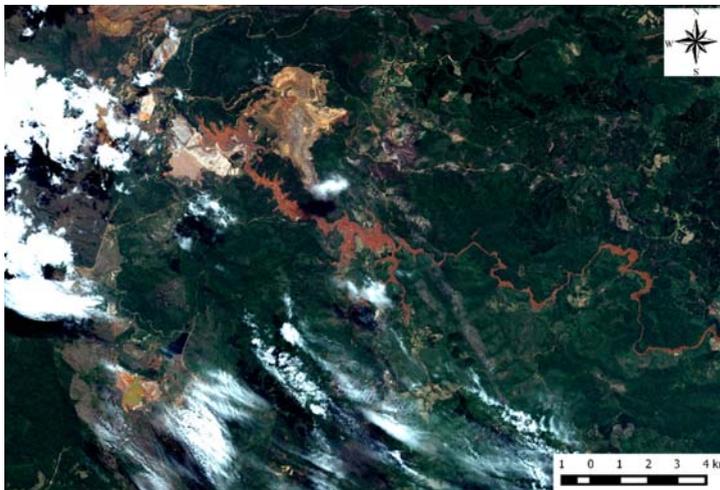
A Figura 8 mostra a imagem do dia 14 de junho, captada antes da ruptura da barragem de Fundão, onde ficavam localizadas as três barragens da Samarco e o sub-distrito de Bento Rodrigues:



**Figura 8** Região antes do rompimento da barragem.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 9 mostra a imagem do dia 6 de novembro, um dia após o rompimento da barragem, indicando a região afetada pelo derramamento da lama. A qualidade da imagem é prejudicada pela presença de muitas nuvens, mas a região afetada é claramente visível. A Figura 10 é a aproximação na região das barragens (Figura 8) após a ruptura.



**Figura 9** Região após a ruptura da barragem.

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 10** Região das barragens após a ruptura.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para identificar as áreas atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão, bem como o trajeto da lama, foi utilizado o *plugin* SCP. Foram coletadas amostras das áreas de interesse, geradas assinaturas espectrais e elaborados mapas de Classificação Supervisionada, antes e depois do rompimento.

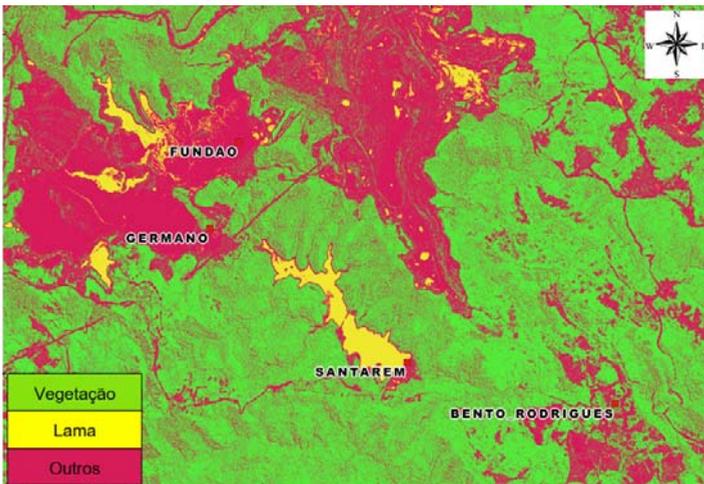
#### 4.1 Antes do rompimento da barragem

A imagem vista na Figura 11 foi utilizada para efetuar a Classificação Supervisionada da região de Mariana antes do rompimento da barragem. A imagem classificada pode ser visualizada na Figura 12. Na classificação, foram determinadas as seguintes classes: vegetação, lama (água com resíduos) e outros (por exemplo, solo exposto, construções, vias pavimentadas, plantações, estradas de terra etc.). Para isso, coletou-se 29 amostras de vegetação, 4 amostras de lama e 15 amostras de outros elementos.



**Figura 11** Imagem utilizada para a Classificação Supervisionada.

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 12** Resultado da classificação antes do rompimento da barragem.

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 4.2 Depois do rompimento da barragem

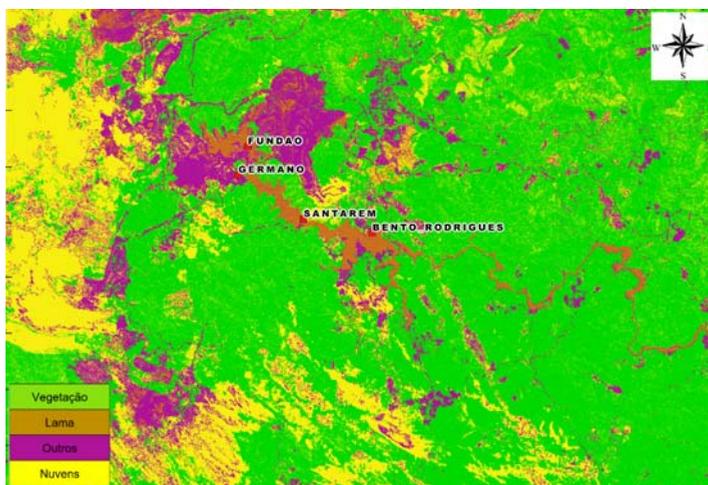
O mapa ilustrado na Figura 13 indica o caminho de um dos principais rios da região, o Rio Gualaxo do Norte, a localização de Bento Rodrigues e também alguns dos elementos mais afetados pelo espalhamento da lama.

Para a Classificação Supervisionada da imagem de satélite vista na Figura 13, foram identificadas as seguintes classes: vegetação, lama, nuvens e outros (barragens, solo exposto, construções, vias pavimentadas, plantações, estradas de terra etc.). Para tanto, foram identificadas 24 amostras de lama, 43 amostras de vegetação, 5 amostras de nuvens e 35 amostras de outros elementos. O resultado da Classificação Supervisionada pode ser visto na Figura 14:



**Figura 13** Localização dos elementos mais atingidos pela lama.

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 14** Resultado da classificação após o rompimento da barragem.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para melhor identificar os lugares devastados, as Figuras 15 e 16 apresentam o contorno da lama sobreposto a uma foto de satélite da região quando esta ainda não havia sido afetada pela ruptura da barragem. Por meio do QGIS, foi calculada uma área total de aproximadamente 56,2 km<sup>2</sup> de propagação de lama em toda a região analisada.



**Figura 15** Contorno da dissipação da lama na imagem antes do rompimento.

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 16** Contorno da lama na região das barragens.

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 5 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As imagens de Sensoriamento Remoto utilizadas em Classificação Supervisionada devem ser escolhidas levando-se em conta diversos fatores, como a data da coleta, a resolução espacial e espectral do sensor, a porcentagem de nuvens, entre outros. As imagens do satélite SPOT-6 analisadas neste estudo possuem uma boa resolução espacial se comparadas às de outros satélites. O menor tamanho de *pixel* (1,5m x 1,5 m) permitiu melhor amostragem na imagem e, conseqüentemente, uma classificação mais precisa.

Na imagem de satélite do dia 6 de novembro (Figura 13), nota-se uma quantidade grande de nuvens que impedem a identificação das regiões encobertas. Por isso, foi necessária a criação de uma classe exclusiva para nuvens na Classificação Supervisionada. Infelizmente, os autores não tinham à disposição imagens com menor cobertura de nuvens na data requerida. Apesar disso, a análise não foi prejudicada, pois as nuvens cobriam uma região de relevância secundária no estudo. Na imagem do dia 14 de junho (Figura 11), esse problema não ocorreu.

O processo de Classificação Supervisionada não é completamente isento de erros, pois elementos diferentes podem apresentar Assinaturas Espectrais muito parecidas, confundindo a classificação. Ao analisar o resultado da classificação ilustrada na Figura 14, em que a lama percorreu grandes áreas, observa-se que alguns pontos fora do percurso onde a lama se espalhou foram classificados como lama. Isso acontece pelo fato de a Assinatura Espectral da lama ser semelhante às assinaturas dos solos descobertos, como estradas e áreas desmatadas. Portanto, é possível que elementos distintos mas com índices de reflectância semelhantes sejam classificados de maneira errada pelo algoritmo de classificação.

Na Figura 13, na qual é evidenciado o Rio Gualaxo do Norte, nota-se que a lama percorreu praticamente todo o curso do rio, ocasionando sua contaminação e, conseqüentemente, perda de grande parte do ecossistema aquático. Esse fato ilustra a consequência de falhas no cumprimento de exigências em uma barragem de rejeitos, como a realização de manutenções no sistema e mais fiscalização. Além disso, a mesma figura mostra apenas um pequeno pedaço do que restou do subdistrito de Bento Rodrigues, confirmando mais um dos trágicos efeitos desse desastre.

Ao analisar o número de amostras coletadas nas imagens de antes e depois do desastre (Figuras 11 e 13, respectivamente) e examinar as classificações resultantes de cada uma delas (Figuras 12 e 14, respectivamente), constatou-se que o *plugin* SCP é uma ótima ferramenta para realizar classificações supervisionadas de imagens de Sensoriamento Remoto, considerando a pequena quantidade de amostras e o ótimo

resultado obtido. Deve-se ressaltar, porém, que quanto maior o número de amostras, mais precisos serão os resultados obtidos.

---

## 6 CONCLUSÃO

O uso do *software* de Sistema de Informações Geográficas QGIS mostrou que essa é uma ferramenta eficaz para este tipo de estudo. A Classificação Supervisionada de imagens de Sensoriamento Remoto do satélite SPOT-6, gerada por meio do *plugin* SCP, auxiliou no reconhecimento e na análise das áreas afetadas pelo desastre. O SCP mostrou-se produtivo no processamento da classificação, obtendo bons resultados, mesmo com uma quantidade pequena de amostras, possibilitando delimitar, caracterizar e avaliar todas as áreas de interesse com um eficiente desempenho.

Os resultados da análise das imagens classificadas evidenciaram uma área significativamente grande atingida pela lama proveniente da barragem de Fundão, tornando evidente a dimensão de boa parte das consequências do rompimento da barragem de rejeitos no estado de Minas Gerais, por exemplo, a devastação de moradias, a contaminação de rios e, conseqüentemente, os estragos no ambiente aquático.

---

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa ENGESAT (<http://www.engesat.com.br>) por fornecer as imagens de alta resolução do satélite SPOT-6 utilizadas no desenvolvimento do estudo de caso presente neste artigo.

### ANALYSIS OF THE MARIANA DISASTER BY SUPERVISED CLASSIFICATION OF REMOTE SENSING IMAGES

#### Abstract

The use of new technologies for environmental monitoring and analysis of geospatial information has been growing rapidly. Geographic Information Systems software, along with images obtained by Remote Sensing, allow the detailed analysis of changes occurring on the Earth's surface. This work uses Supervised Classification

of satellite images to analyze the consequences of the environmental disaster that occurred in 2015 with the collapse of the Fundão mining dam, located in the city of Mariana, in the state of Minas Gerais, in Brazil. The study analyzes the images of the affected area before and after the event. The classified images allow seeing in detail the path traveled through the mud and to delimit the affected areas.

**Keywords:** Geoprocessing. Geographic Information Systems (GIS). Mining Dams.

---

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. B. *Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro*. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www.poc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2006/Teses/ARAÚJO\\_CB\\_06\\_t\\_M\\_geo.pdf](http://www.poc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2006/Teses/ARAÚJO_CB_06_t_M_geo.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2017.

FIGUEIREDO, D. *Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto*. [S.l.], 2005. 32 f. Apostila. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censos e organização do território*. 2017. Disponível em: <<http://downloads.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

LIMA, R. da S.; PONS, N. A. D.; LIMA, J. P. Utilização do Google Earth para obtenção de mapas viários urbanos para SIG. *MundoGEO*, 2009. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2009/07/09/utilizacao-do-google-earth-para-obtencao-de-mapas-viarios-urbanos-para-sig/>>. Acesso em: 12 out. 2016.

LOZANO, F. A. E. *Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica*. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-14122006-123702/publico/SelecaoLocaisBarragensRejeitos.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

MACHADO, W. G. de F. *Monitoramento de Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração*. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília, DF: Unb: Cnpq, 2012. 276 p. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION (OSGeo). *QGIS – A Free and Open Source Geographic Information System*. 2017. Disponível em: <<http://qgis.org/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

PAMBOUKIAN, S. V. D. *Sistemas de Informações Geográficas*. São Paulo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2016. (Apresentação do curso). Disponível em: <<http://labgeo.mackenzie.br/curso.html>>. Acesso em: 10 out. 2016.

RUDORFF, B. F. T. *Produtos de Sensoriamento Remoto*. Brasília, DF: INPE, [2016]. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acesso em: 23 ago. 2016.

SOUZA FILHO, C. R. de. Sensoriamento Remoto Hiperespectral. *MundoGEO*, 2004. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2004/08/23/sensoriamento-remoto-hiperespectral/>>. Acesso em: 23 out. 2016.

ZALIS, P. O mapa da destruição. *Vêja*, v. 48, n. 2454, p. 84-92, 2 dez. 2015.

#### **Contato**

Sergio Vicente Denser Pamboukian  
sergio.pamboukian@mackenzie.br

#### **Tramitação**

Recebido em julho de 2017.

Aprovado em novembro de 2017.