

## **NDVI NO ESTUDO DA ÁREA IMPACTADA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA-MG**

IARLA LETICIA FELIPE MENDES<sup>1\*</sup>; GIOVANA MIRA DE ESPINDOLA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduada em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, UFPI, Teresina-PI, iarlamendes@hotmail.com;

<sup>2</sup>Dr<sup>a</sup>. em Sensoriamento Remoto, Coord. do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA, UFPI, Teresina-PI, giovanamira@ufpi.edu.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) estão cada vez mais difundidos como ferramenta de auxílio na tomada de decisões, principalmente na gestão de recursos naturais. Dentre as formas de uso de SIG no mapeamento ambiental está o cálculo de índices de vegetação com destaque para o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) que se baseia principalmente nas propriedades de reflectância da vegetação verde na região do vermelho e infravermelho próximo. A partir disso, este trabalho tem como base o uso do NDVI na análise da espacialidade da devastação causada pelo rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana – MG com uso de imagens Landsat no software QGIS e de maneira complementar, verificar a declividade da região relacionando-a com a proporção da catástrofe. No mapa de declividade confeccionado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM é possível observar a variação altimétrica da região demonstrando o quão elevada estão as barragens quando relacionadas ao nível de Bento Rodrigues. O mapa de NDVI possibilita a visualização da espacialidade da catástrofe visto que as regiões impactadas apresentaram redução no valor no NDVI quando comparadas a imagem anterior e posterior ao acidente. A metodologia utilizada neste trabalho demonstrou o uso dos SIG's aplicado a gestão ambiental destacando o uso do NDVI no mapeamento de desastres ambientais, se apresentando de forma eficiente e de fácil compreensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índices de Vegetação, Gestão Ambiental, Sensoriamento Remoto, Barragens.

### **NDVI IN THE STUDY OF THE AREA IMPACTED BY THE RUPTURE OF FUNDÃO DAM IN MARIANA-MG**

**ABSTRACT:** Geographic Information Systems (GIS) are increasingly disseminated as decision makers in decision making, especially in the management of natural resources. Among the ways of using GIS in the environmental mapping is the calculation of vegetation indices with emphasis on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) which is based mainly on the reflectance properties of green vegetation in the region of red and near infrared. From this, this work is based on the use of NDVI in the analysis of the spatiality of the devastation caused by the rupture of the Fundão Dam, in Mariana - MG with use of Landsat images in QGIS software and in a complementary way. In the declivity map made from the Digital Elevation Model (DEM) of SRTM it is possible to observe the altimetric variation of the region demonstrating how high the dams are when related to the level of Bento Rodrigues. The NDVI map enables the visualization of the spatiality of the catastrophe since the impacted regions presented reduction in the value in NDVI when compared to the anterior and posterior image of the accident. The methodology used in this work demonstrated the use of GIS applied to environmental management highlighting the use of NDVI in the mapping of environmental disasters, presenting itself in an efficient and easily understood.

**KEY WORDS:** Vegetation Indices, Environmental Management, Remote Sensing, Dams.

## **INTRODUÇÃO**

Medidas de combate ao uso indiscriminado de recursos naturais e diminuição dos danos causados por atividades humanas vêm ganhando evidência em discussões no meio político, científico e social. Essas medidas de prevenção chamam mais a atenção quando regiões urbanizadas ou de grande importância biológica são sujeitas a acidentes ambientais de grandes proporções, resultado, em alguns casos, de instalações precárias ou falta de manutenção preventiva.

Quando há falhas na fiscalização, gestão dos riscos ou nos planos de prevenção de catástrofes, entra em cena o monitoramento de causas e consequências. De grande valor e urgente necessidade, esse monitoramento inicia com a delimitação das áreas impactadas, indicando os locais que foram afetados, ou que ainda poderão ser, refletindo diretamente no custo dos processos de recuperação do dano ambiental e auxiliando na tomada de decisões.

É nesse contexto que cresce o uso das geotecnologias. As técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), vêm sendo utilizados no mapeamento de alterações ambientais por disponibilizar um panorama conjunto de grandes áreas, com revisitas em intervalos temporais regulares. Baptista (2010) destaca que “Os Sistemas de Informação Geográfica, pela multiplicidade de informação que conseguem reunir, são uma ferramenta fundamental na gestão de catástrofes naturais e no apoio aos planos de emergência”.

O uso dos SIG's podem auxiliar de forma preventiva ou remediava, como em casos aplicados no monitoramento de barragens ou no mapeamento de tragédias causadas por elas por exemplo, sendo este último abordado nesse trabalho.

O vigor da vegetação, ou a falta dela, pode ser um bom indicativo das áreas impactadas pelo acidente. Índices de vegetação, entre eles o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, do inglês Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), podem ser utilizados para demonstrar o comportamento da vegetação. Esse índice se baseia principalmente nas propriedades de reflectância da vegetação verde na região do vermelho e infravermelho próximo, e “pode ser analisado por valores obtidos em diferentes datas, que permitem avaliar a variação da área verde em certo período de tempo” (Zanzarini, 2013).

Outra técnica relevante é o uso de Modelos Digitais de Terreno (MDT), que possuem grande importância em um mapeamento prévio de possíveis danos causados no rompimento de uma barragem visto que torna possível traçar o sentido do escoamento superficial, de modo a permitir simular no caso de um possível rompimento as regiões que serão atingidas, sendo de grande importância em sua fase de instalação.

Um acidente ambiental de grandes proporções que ganhou grande visibilidade foi o rompimento da Barragem do Fundão no Subdistrito de Bento Rodrigues em Mariana/MG em 5 de novembro de 2015, que ocasionou uma enxurrada de lama e rejeitos de mineração. O Governo do Estado de Minas Gerais (2016) divulgou que a catástrofe provocou destruição, deixando 17 mortos, mais de 600 pessoas desabrigadas e desalojadas, milhares de pessoas sem água e gerou ainda graves danos ambientais e socioeconômicos a toda a Bacia do Rio Doce.

Posto isso, este trabalho se propõe analisar a espacialidade do acidente de modo que a metodologia aqui aplicada, unida a outras ferramentas, possa auxiliar no processo de delimitação das áreas impactadas.

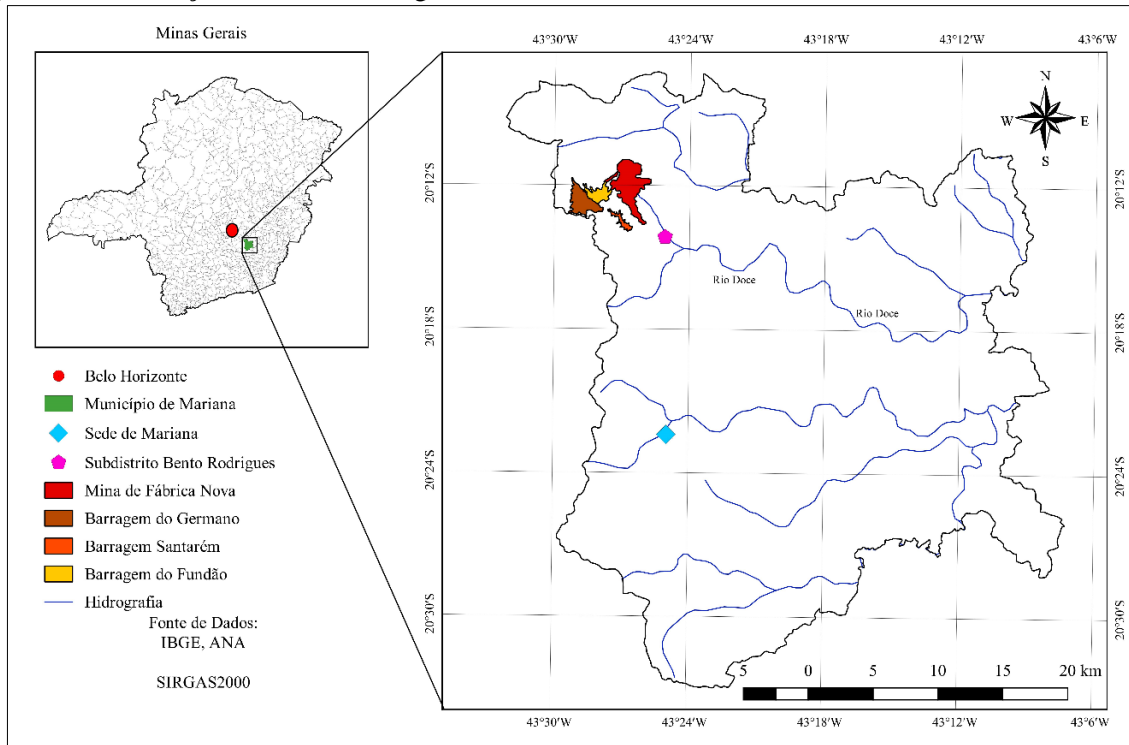
## **MATERIAL E MÉTODOS**

Localizado na área central de Minas Gerais, o município de Mariana, de área aproximadamente 1.194 km<sup>2</sup> e população estimada em 2015 de 58.000 (IBGE, 2015), em 5 de novembro de 2015 presenciou a maior tragédia se sua história, o rompimento da Barragem de Fundão, no subdistrito Bento de Rodrigues. Fundão faz parte do complexo da Mina de Fábrica Nova, junto com as Barragens de Germano e Santarém, ambas da Mineradora Samarco (controlada pela Vale e BHP Billiton).

Bento Rodrigues é um subdistrito de Santa Rita Durão e encontra-se a 35 km do centro de Mariana e a 124 km de distância da capital do Estado, Belo Horizonte, caracterizada pela intensa extração mineral.

Na Figura 1, que segue, é possível notar a proximidade de Bento Rodrigues ao complexo de barragens de rejeitos de mineração da Mina de Fábrica Nova.

Figura 1. Localização de Bento Rodrigues.



Um fator determinante para a proporção da tragédia foi a distribuição altimétrica da região. Para esta análise, foi usada uma a Carta SF-23-X-B do estado de Minas Gerais com o Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM com resolução espacial de 90m. As cartas estão disponíveis para download gratuito no site da EMBRAPA onde é possível encontrar a cobertura de todo país (<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/index.htm>).

A exibição dos dados altimétricos foi possível com o uso do Software QGIS, a partir da rederização tipo banda simples falsa-cor, onde é atribuído um gradiente de cor que representa respectivos valores de elevação dentro da região imageada.

Após esta análise complementar que demonstra o relevo da região, partiu-se para a análise temporal do verdor vegetativo, de modo a evidenciar a espacialidade do acidente no subdistrito a partir da distribuição da vegetação. Para tanto foram utilizadas imagens de satélite Landsat 8, obtidas gratuitamente via United States Geological Survey (USGS) pelo programa EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), relativas aos dias 11/10/2015 (anterior ao acidente) e 12/11/2015 (posterior ao acidente).

O cálculo do NDVI é feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (visível – vermelho) dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas (Rouse et al., 1973). O resultado varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. Na faixa espectral do vermelho a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma altas reflectância da energia solar incidente. Quanto maior, portanto, o contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada e a combinação destas duas faixas espectrais realçam as áreas de vegetação nas imagens, sendo que neste princípio se baseiam os índices de vegetação (Lourenço & Landim, 2004).

O processamento das imagens para cada uma das datas estudadas, foi realizado na ferramenta “calculadora raster” do software QGIS a partir da equação que segue:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Onde:

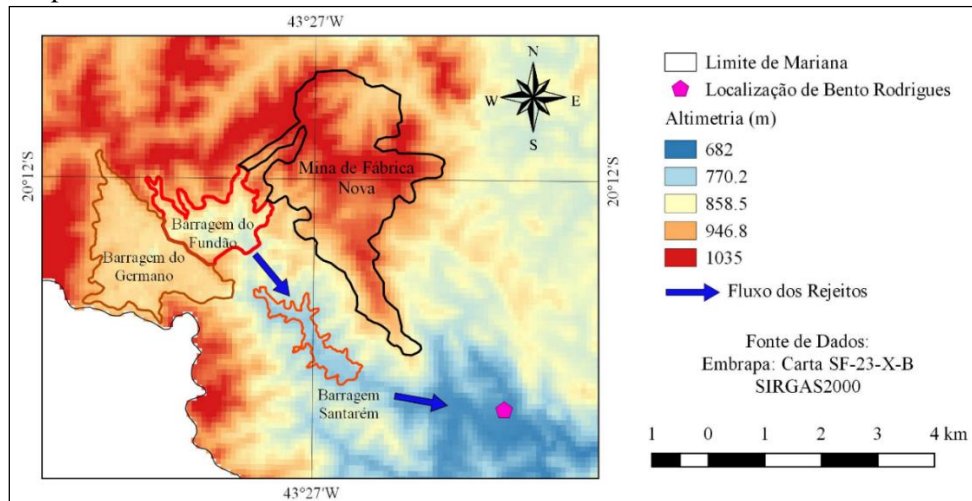
IVP: fator reflectância bidirecional no infravermelho próximo (banda 5 do Landsat 8);

V: fator de reflectância bidirecional no vermelho (banda 4 do Landsat 8);

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma análise complementar quanto o entorno de Bento Rodrigues foi possível gerar o Mapa de Declividade (Figura 2) que demonstra a formação do relevo da região, elucidando os altos e baixos do entorno das barragens.

Figura 2. Mapa de Declividade.

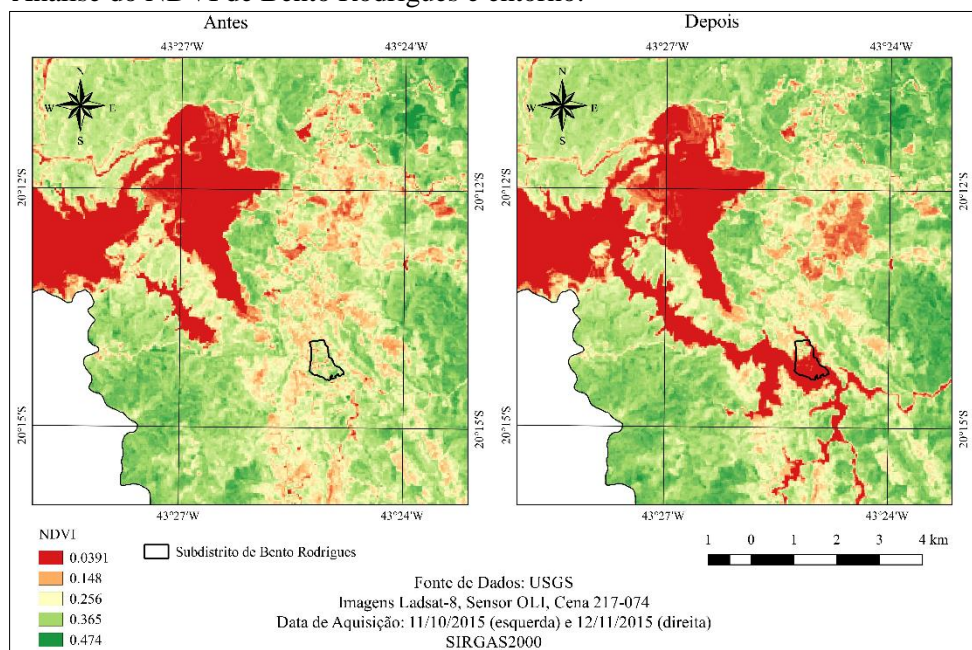


Através da Figura 2 é possível perceber a diferença de altitude entre o subdistrito de Bento Rodrigues, integrante de uma região de menores altitudes ilustrada em azul escuro (682m), a Mina, que está localizada na região mais alta do mapa, ilustrada em um vermelho intenso (1035m) e as Barragens, estas de altitudes variando entre 770,2m e 946,8m, ambas de maiores altitudes que a do subdistrito.

Com o rompimento da Barragem de Fundão, uma correnteza de rejeitos seguiu para as áreas mais baixas, envolvendo a Barragem de Santarém (que inicialmente tinham suposições de seu rompimento, descartados pela Samarco) seguindo na direção de Bento Rodrigues. Essa formação natural do relevo pode ter relação com a intensidade e a rapidez que ocorreu a catástrofe, visto que a diferença de nível, vendo através do mapa, pode ser superior a 250m.

Feito está análise prévia, o mapa de NDVI do antes e depois, pode nos demonstrar a proporção do acidente através de uma análise temporal, em um intervalo de um mês conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3. Análise do NDVI de Bento Rodrigues e entorno.



A Figura 3 mostra os mapas das imagens processadas referente aos cálculos de NDVI, para os dois períodos estudados, antes e depois do rompimento. Verifica-se em ambas imagens regiões com alto valor de NDVI (0,474) devido a apresentação de vegetação nativa ou uma área de vegetação mais densa.

Uma área com vegetação menos densa cobre grande parte da área estudada com NDVI = 0,365. Nas duas imagens também são observados valores de NDVI próximos de 0,256 que representam regiões com pouca vegetação e próximos de 0,148 regiões de solo exposto ou parcialmente exposto.

Nas imagens é possível perceber regiões em um vermelho bem intenso (NDVI = 0,0391) e com uma espacialidade bem definida, essas áreas compreendem o complexo de barragens e a Mina e outras regiões edificadas, seu baixo NDVI se dá ao fato de nesses locais não haver vegetação.

## CONCLUSÃO

O estudo do relevo do subdistrito de Bento Rodrigues, realizado utilizando os dados altimétricos contidos nas imagens SRTM, possibilitou a geração de documentos cartográficos relevantes para análise da influência da distribuição altimétrica na proporção da tragédia.

Ao analisarmos o mapa comparativo do NDVI anterior e posterior ao rompimento da barragem o que mais chama atenção, é o crescimento da região em vermelho quando comparados o antes e depois. A localização de Bento Rodrigues passou a ser caracterizada por uma região de baixo NDVI, e com uma maior e bem mais definida espacialidade, que representa o quanto a lama tomou todo o subdistrito.

As informações adquiridas pelo SIG a partir do cálculo do NDVI podem auxiliar no conhecimento da situação ambiental da região estudada, apoiando nas decisões a serem tomadas no intuito de controlar e corrigir problemas ambientais causados pela catástrofe. Assim, o mapeamento temático de uma região através com a utilização de SIG's se torna uma ferramenta importante na criação de bases para ações e estudos posteriores.

Mesmo fazendo-se necessário um estudo *in locu* para confirmar os resultados obtidos, eles se mostram bastante favoráveis para análise do acidente. Apresentaram com eficiência as áreas possivelmente impactadas, além de demonstrar de forma visual bastante compreensível para a sociedade, seja gestor, cientista ou a população em geral. O usuário conseguirá entender facilmente as informações demonstradas graças as técnicas de SIG empregadas na metodologia.

## REFERÊNCIAS

- Baptista, L. SIG e os desastres naturais. Territórios Digitais, v.2, n.8, p. 10-11,2010.
- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=314000&search=minas-gerais|mariana|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 15 de novembro de 2017.
- Gonçalves, F. A. F.; Brantes, H. de A. Mapeamento Temático para Suporte à Tomada de Decisão: Bacia do Rio Doce Após Rompimento da Barragem de Fundão. UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2016
- Lourenço, R. W.; Landim, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de Vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. Holos environment, Rio Claro, v. 4, n. 1, p. 38-55, 2004.
- Minas Gerais. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana. Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão. Mariana. MG. 2016. p.6.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium,3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.
- Zanzarini, F. V. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. v.17, n.6, p.608-614, 2013.