

## **ANÁLISE DA MUDANÇA NA COBERTURA FLORESTAL E HÍDRICA EM BRUMADINHO-MG APÓS ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS**

*Analysis of the change in forest and water coverage in Brumadinho-MG after  
breaking the waste dam*

**Evely Ferreira do Nascimento**  
**Universidade Federal de Pernambuco**  
Departamento de Engenharia Cartográfica - DECart  
evely.nascimento@ufpe.br

**Laízy de Santana Azevedo**  
**Universidade Federal de Pernambuco**  
Departamento de Engenharia Cartográfica - DECart  
laizy.azevedo@ufpe.br

**Ana Lúcia Bezerra Candeias**  
**Universidade Federal de Pernambuco**  
Departamento de Engenharia Cartográfica -DECart  
analucia@ufpe.br

### **Resumo:**

Dentre as aplicações do Sensoriamento Remoto destaca-se a estimativa do índice de vegetação (NDVI) e de água (NDWI). Esta ciência atrelada a técnicas de processamento digital de imagens tem se mostrado uma ferramenta eficaz no estudo de impactos ambientais, como em casos de rompimento de barragens e despejo de rejeito, que podem afetar diretamente a vegetação e as águas. O objetivo deste trabalho é estimar o índice de vegetação e o conteúdo de umidade e avaliar as mudanças temporais desses índices no município de Brumadinho-MG antes e após o rompimento de uma das barragens da mina do Feijão. Para isso, foi feito o cálculo do NDVI e do NDWI a partir de imagens do Satélite Landsat 8/OLI com as datas de aquisição 14/01/2019, 30/01/2019 e 02/02/2020. Os estudos mostraram que a região atingida pela lama, um ano após o desastre, apresenta valores de índices NDVI e NDWI semelhantes aos obtidos 5 dias após o rompimento da barragem. Um perfil da área atingida pela lama apresenta a variação dos índices ao longo da área e mostra que houve uma redução significativa dos valores de NDVI logo após o rompimento indicando ausência de vegetação, e um ano após o rompimento, houve uma alternância dos índices ao longo do perfil.

**Palavras-chave:** Análise de mudanças; Cobertura vegetal e hídrica; Brumadinho.

### **Abstract**

Among the applications of Remote Sensing, the estimation of the vegetation index (NDVI) and water (NDWI) stands out. This science, linked to digital image processing techniques, has been qualified as an effective tool in the study of environmental impacts, such as in cases of rupture of dams and tailings dumping, which can directly affect vegetation and waters. The objective of the work is to estimate the vegetation index and the evaluation content and to evaluate the temporal changes of these indexes in the municipality of Brumadinho-MG before and after the rupture of one of the Feijão mine dams. For this, the NDVI and NDWI were calculated using images from the Landsat 8 / OLI Satellite with the acquisition dates 1/14/2019, 1/30/2019 and 2/2/2020. The studies unchanged that the region affected by the mud, one year after the disaster, presents values of NDVI and NDWI indexes similar to the 5 days after the dam burst. A profile of the area affected by the mud shows a variation of the indices along the area and shows that there was a reduction in the NDVI values shortly after the breakage of

the vegetation indication, and one year after the breakdown, there was an alternation of the indices along the profile.

**Keywords:** Analysis of changes; Vegetable and water cover; Brumadinho

## 1. INTRODUÇÃO

A Barragem I da Mina do Feijão foi implantada em 1976 pela Forteco Mineração e sua finalidade era a contenção de rejeitos finos e provenientes da instalação de tratamento de minério. A barragem da Vale se desfez no dia 25 de janeiro de 2019 após seu rompimento causando uma grave tragédia ambiental. Segundo Osul (2019), a tragédia ambiental ocorrida em Brumadinho é o décimo desastre com rompimento de barragens desde 2000 no Brasil, sendo seis deles em Minas Gerais, uma lista que cresce à média de um a cada dois anos.

De acordo com o IBAMA (2019), a análise realizada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Informações Ambientais (Cenima) do Ibama, apontaram que os rejeitos de mineração devastaram 133,27 hectares de vegetação nativa de Mata Atlântica e 70,65 hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo de cursos d'água afetados pelos rejeitos de mineração. As mudanças na cobertura do solo em uma área de desastre podem incluir mudanças temporárias e de longo prazo na cobertura do solo. O estudo da mudança do padrão de terra na área de desastre é necessário, porque estas áreas estão tipicamente localizadas perto da agricultura ou da residência (LUO, GOODIN E CALDAS, 2019).

As técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) mostraram claramente vantagens sobre o monitoramento de campo convencional e medições de laboratório para avaliar dinâmica paisagística de curto prazo (ZUO e HOU, 2014). As imagens de satélite multiespectrais permitem detectar mudanças graduais e abruptas nas paisagens (RAJCHANDAR *et al.*, 2017). Dentre as mudanças que podem ser identificadas através de imagens de satélites, destacam-se mudanças na cobertura vegetal e hídrica, temperatura da superfície, uso e cobertura do solo dentre outras.

Diferentes índices são utilizados para destacar alvos distintos, um deles é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Este índice é obtido a partir das duas bandas espectrais da imagem de satélite adquirida, a do vermelho e do infravermelho próximo, conforme a equação proposta por Rouse *et al.*, (1973), e apresenta uma variação entre -1 e 1. Os valores positivos e mais próximos de 1 constituem superfícies com maior índice de vegetação, enquanto que os valores negativos equivalem a água ou nuvens. Os valores próximos de zero representam rochas e solo exposto pois eles refletem na faixa do vermelho e infravermelho próximo quase na mesma proporção. Este índice é bastante utilizado para detectar e estudar alterações na cobertura vegetal de uma determinada região.

Diversos autores, com o objetivo de extrair informação de água a partir de imagens de SR, utilizaram o Índice de água por Diferença Normalizada (NDWI) para ressaltar áreas inundáveis e obtiveram resultados satisfatórios (BRENER e GUASSELLI, 2015; RODRIGUES, 2017). Este índice permite analisar variações hídricas, destacando principalmente alterações relacionadas ao alvo água.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é mostrar a aplicação dos índices de vegetação e da água, para observar a variação espaço temporal em Brumadinho e verificar o impacto do rompimento da barragem na área afetada pelo rejeito em relação ao uso e cobertura da terra antes do impacto ambiental.

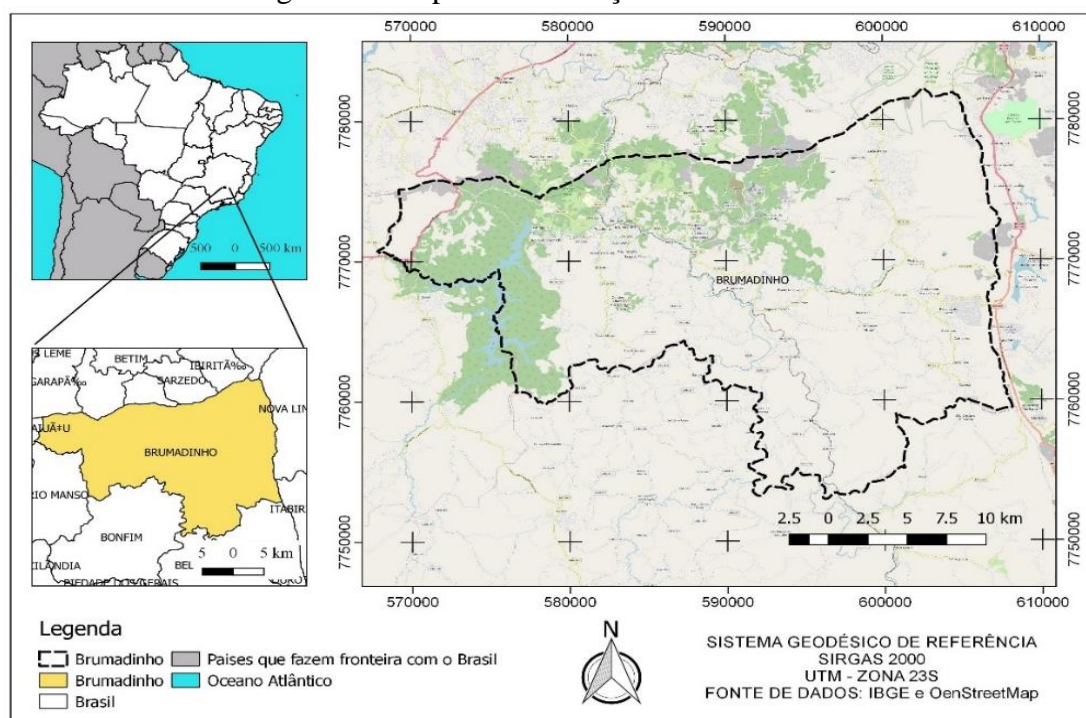
## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de estudo

A área de Estudo (Figura 1) compreende o município de Brumadinho, em Minas Gerais. Esse município se estende por 639,4 km<sup>2</sup> e contava com 33973 habitantes no censo de 2010, com densidade demográfica de 53,2 habitantes por km<sup>2</sup>.

Vizinho dos municípios de Mário Campos, Rio Manso e São Joaquim de Bicas, Brumadinho situa-se a 12 km a Sul-Leste de Igarapé, a maior cidade nos arredores. Situado a 720 metros de altitude, o município tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 20° 7' 6" Sul, Longitude: 44° 12' 4" Oeste. Neste município encontra-se a barragem de rejeitos, oficialmente era barragem da Mina do Feijão, classificada como de "baixo risco" e "alto potencial de danos" a qual era controlada pela Mineradora Vale S.A.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Os autores (2020).

### 2.2. Materiais e Métodos

#### 2.2.1. Dados de Satélite

Foram utilizadas três imagens do satélite Landsat 8 (OLI) que recobrem a área de estudo nas datas de 14 de janeiro de 2019 (11 dias antes do rompimento da barragem), 30 de janeiro de 2019 (5 dias após o rompimento da barragem), e 02 de fevereiro de 2020 (aproximadamente um ano após o rompimento), com resolução espacial de 30 m. As imagens foram escolhidas para estudar a dinâmica da paisagem em relação ao desastre e adquiridas através do catálogo de imagens Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), órbita 218 e Ponto 74.

### 2.2.2. Processamento de Imagem

As etapas metodológicas envolvidas no processamento para a elaboração deste trabalho estão descritas na Figura 2. Estas etapas foram realizadas para investigar a dinâmica da paisagem na área de estudo. O software utilizado para processamento das imagens e produção dos mapas foi o QuantumGis versão 2.18.16. As imagens Landsat foram adquiridas no site EarthExplorer - USGS e foram selecionadas apenas as bandas utilizadas nos cálculos dos índices utilizados. Antes da obtenção do NDVI e o NDWI é necessário calcular a radiância e a reflectância das bandas a fim de se obter um melhor resultado.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Os autores (2020).

### 2.2.3. NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) apresenta uma variação entre -1 e 1, pela equação de Rouse et al., (1973) sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e, na água ou nuvens, os valores predominantes são menores que zero, e os valores próximos de zero representam rochas e solo exposto pois eles refletem na faixa do vermelho e infravermelho próximo (Bandas 4 e 5 do sensor OLI) quase na mesma proporção, conforme a equação abaixo:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})} \quad (1)$$

onde  $\rho_{NIR}$  reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda 5 no sensor OLI) e  $\rho_{red}$  reflectância da banda do vermelho (reflectância da banda 4 no sensor OLI).

O processamento OLI se deu em conformidade com Ruhoff, Silva & Rocha (2015): para conversão dos valores quantizados e calibrados (ND) do Landsat 8 OLI para reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens USGS. A reflectância planetária no topo da atmosfera ( $\rho'\lambda$ ), calcula-se por:

$$\rho'\lambda = M_p Q_{cal} + A_p \quad (2)$$

onde  $\rho'\lambda$  não apresenta correção para o ângulo solar,  $M_p$  corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem),  $Q_{cal}$  o número digital para cada pixel e  $A_p$  corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem). Para correção da reflectância em função do ângulo solar e da distância astronômica Terra-Sol (d) usou-se:

$$\rho\lambda = \frac{\rho'\lambda}{\cos(\theta_{sz}) * 1/d^2} = \frac{\rho'\lambda}{\sin(\theta_{se}) * 1/d^2} \quad (3)$$

onde  $\rho\lambda$  corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida,  $\theta_{se}$  corresponde ao ângulo de elevação solar (disponível nos metadados da imagem) e  $\theta_{sz}$  corresponde ao ângulo zenital solar local (calculado a partir de  $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$ ).

### 2.2.4. NDWI

O valor de NDWI também varia de -1 a 1. Para corpos d'água, é esperado que a Equação 4 forneça valores  $NDWI \geq 0$  ou seja, nas imagens geradas pelo NDWI os corpos d'água terão alto valor de brilho (Polidoro *et al.*, 2004).

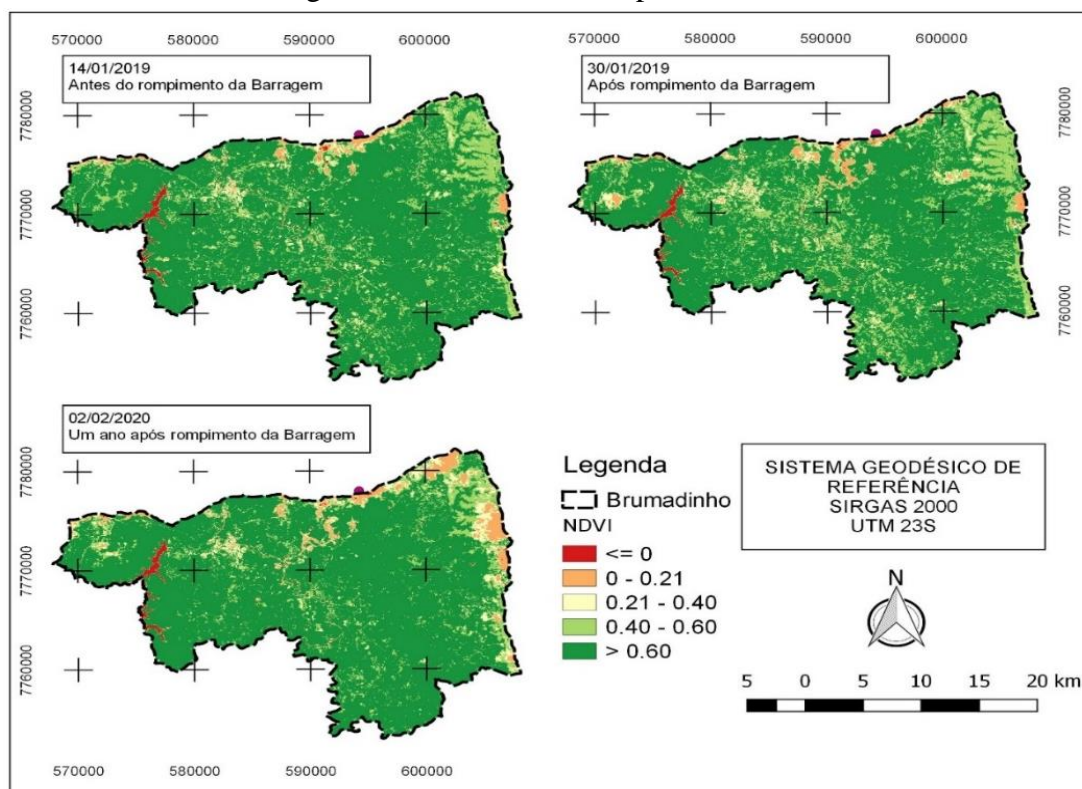
$$NDWI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{MIR})}{(\rho_{NIR} + \rho_{MIR})} \quad (4)$$

onde  $\rho_{NIR}$  reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda 5 do OLI) e  $\rho_{MIR}$  reflectância da banda do infravermelho médio (reflectância da banda 6 do OLI).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 pode ser visto os resultados obtidos de NDVI para as três datas estudadas: 14/01/2019, 30/01/2019 e 02/02/2020. Para facilitar a interpretação dos dados, as imagens foram agrupadas em 5 classes distintas definidas conforme os intervalos utilizados em Silva e Silva (2017), onde eles observaram que o intervalo de -1 a 0.21 compreendem corpo hídrico, solo exposto, afloramentos rochosos e área urbana, tendo os corpos hídricos os valores mais negativos de NDVI.

Figura 3 – NDVI do município de Brumadinho.



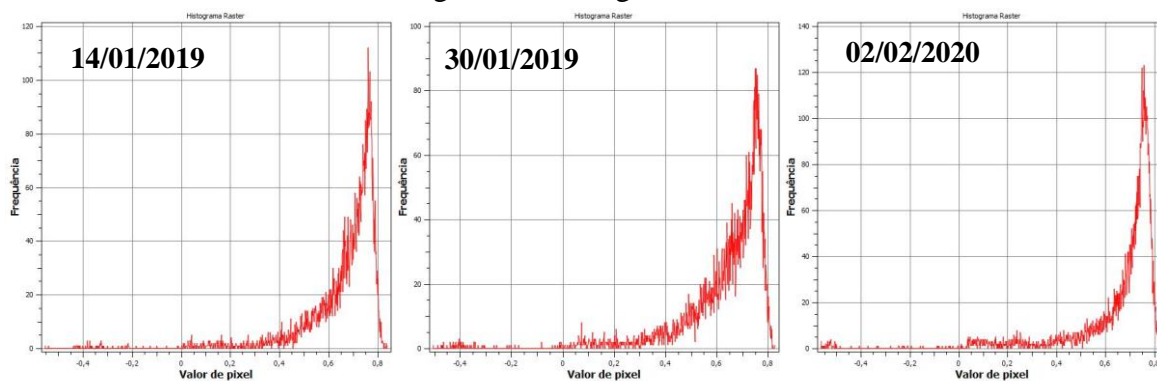
Fonte: Os autores (2020).

Observa-se que não houve uma grande variação na classe com valores menores que zero, que corresponde ao corpo hídrico localizado a Oeste do município. Também não foi observada variações significativas na maior parte do município para a classe com valores maiores que 0.60, que corresponde a áreas de vegetação, exceto na região afetada pelos rejeitos da Barragem

que será enfatizada posteriormente. No lado Leste do município, na imagem do ano de 2020 observa-se valores entre 0 e 0.21, porém grande parte desse resultado corresponde a nuvens.

A Figura 4 apresenta os histogramas para o índice de vegetação. Através desta Figura, nota-se que há uma consistência entre os resultados obtidos para as três imagens em relação a distribuição das classes na Figura 4.

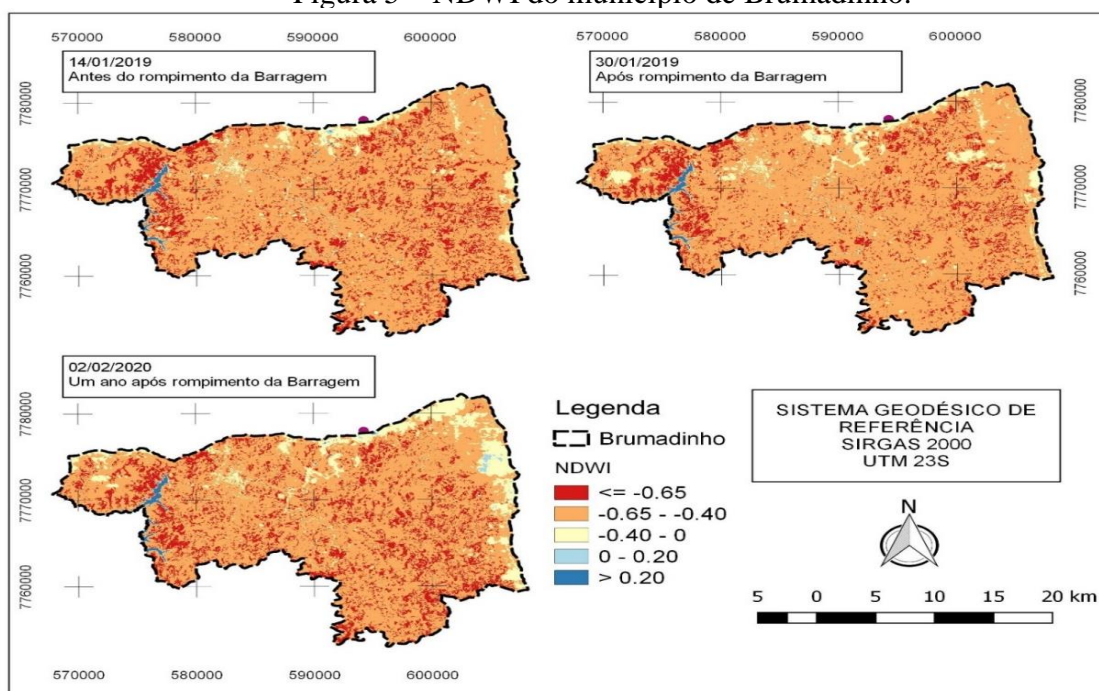
Figura 4 – Histogramas do NDVI.



Fonte: Os autores (2020).

Os resultados obtidos para o NDWI podem ser vistos na Figura 5. As classes que apresentam índices mais próximos de 1 (definidas em duas classes de valores positivos de NDWI na Figura) apresentam áreas mais úmidas. As classes de valores negativos foram definidas aleatoriamente, no entanto observou-se que a terceira classe (-0.40 – 0) representa a área atingida pelo rejeito da barragem. Nota-se que existem poucos pontos com valores de  $NDWI > 0.20$  além do corpo hídrico observado no Oeste do município. Esses pontos podem ser vistos ao Norte de Brumadinho e em alguns trechos do trajeto que leva ao Rio Paraopeba.

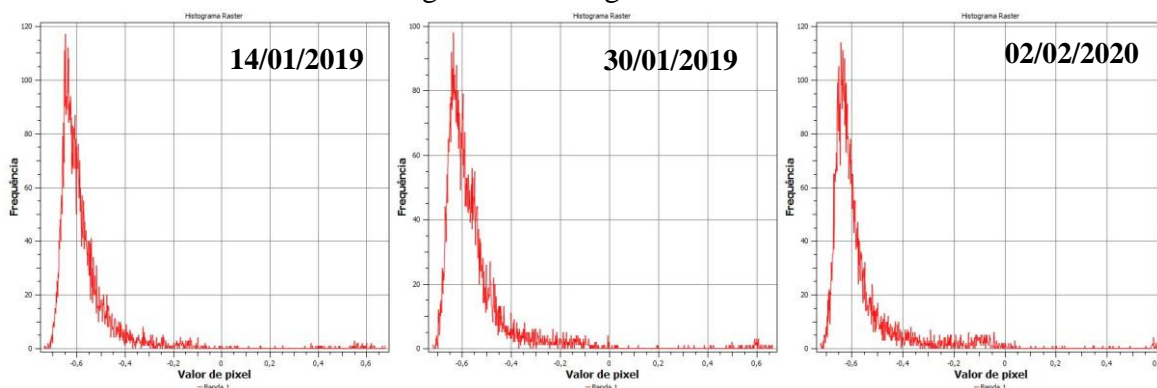
Figura 5 – NDWI do município de Brumadinho.



Fonte: Os autores (2020).

A Figura 6 apresenta a estatística do NDWI. Por meio desses resultados, nota-se que, assim como no NDVI, também há uma consistência entre os resultados obtidos para as três imagens em relação a frequência das classes do Índice.

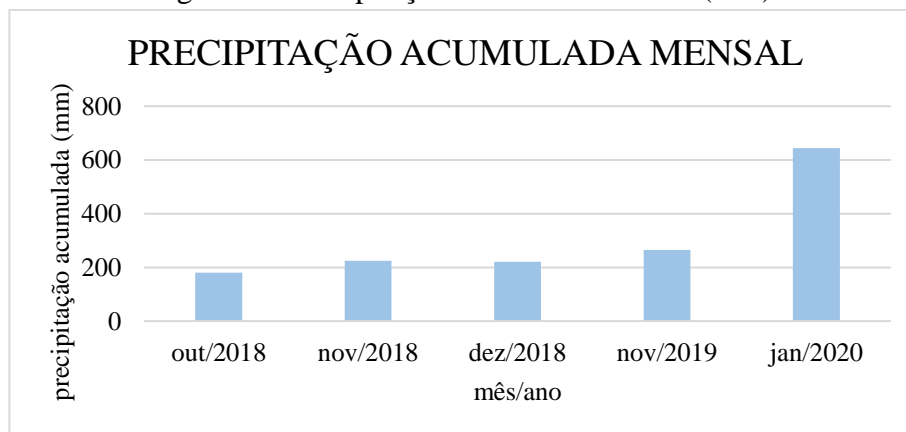
Figura 6 – Histogramas do NDWI.



Fonte: Os autores (2020).

Essas mudanças identificadas podem ser justificadas pela precipitação no entorno da região de estudo. Segundo Galvêncio *et al.*, (2016), a precipitação nos três meses anteriores a data das imagens de satélite influencia na paisagem. A Figura 7 mostra a precipitação acumulada (mm) para os três meses que antecedem cada imagem, obtidos através do banco de dados meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Para o período de dezembro de 2019 não existiam dados disponíveis. No início do ano de 2020, nota-se uma precipitação acumulada elevada o que pode justificar o vigor vegetativo.

Figura 7 – Precipitação acumulada mensal (mm).

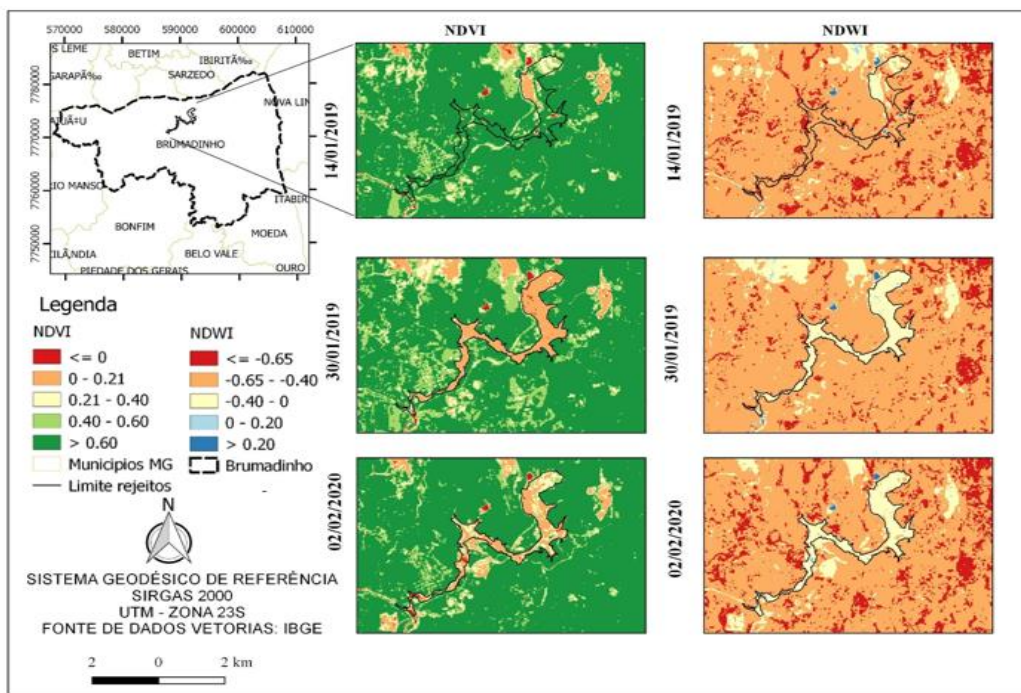


Fonte: Os autores (2020).

O IBGE disponibilizou informações geospaciais do limite da área atingida pela lama sobre a região atingida pelo rompimento da barragem da Mina do Feijão, em Brumadinho. As informações estão em formato kml, csv e shp, e podem ser manipuladas em diferentes softwares de SIG. O Polígono com limites da Barragem representa a área atingida pelos rejeitos da Barragem de Brumadinho – MG adquirido através da interpretação de imagens orbitais. Visando dar consistência aos resultados encontrados para o município como um todo, também

foram analisados os resultados da região específica onde ocorreu o desastre. Os índices NDVI e NDWI obtidos na área atingida pelo rejeito da barragem e seu entorno podem ser identificados na Figura 8.

Figura 8 – Índices NDVI e NDWI na área atingida pelos rejeitos.



Fonte: Os autores (2020).

Observa-se que antes do rompimento da Barragem (imagem de 14/01/2019), os valores de NDVI predominantes na área do polígono eram maiores que 0.60 e logo após o rompimento até os dias atuais, predominam valores entre 0 e 0.21, que correspondem a classes de solo exposto ou afloramento rochoso. Também é possível notar alterações através do NDWI em que após o rompimento há predominância na classe com valores entre -0.4 e 0, em que valores próximos de zero correspondem ao solo exposto ou sem vegetação. A Figura 9 mostra uma representação da área antes e depois do rompimento extraídas do Google Earth cujas coordenadas centrais são: Latitude: 20°07'32.08" S e Longitude: 44°07'19.84" O.

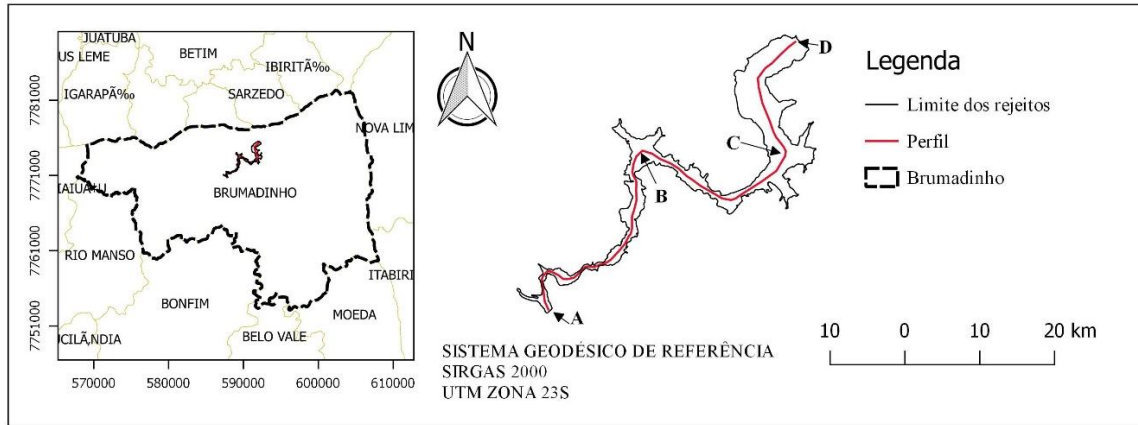
Figura 9 – Área de estudo antes e após o rompimento.



Fonte: Google Earth.

Foram elaborados perfis dos Índices em trecho localizado no interior da área afetada pelo rejeito, baseado nos dados disponibilizados pelo IBGE, desde a Barragem até a área próxima ao Rio Paraopeba. A Figura 10 mostra a localização do perfil.

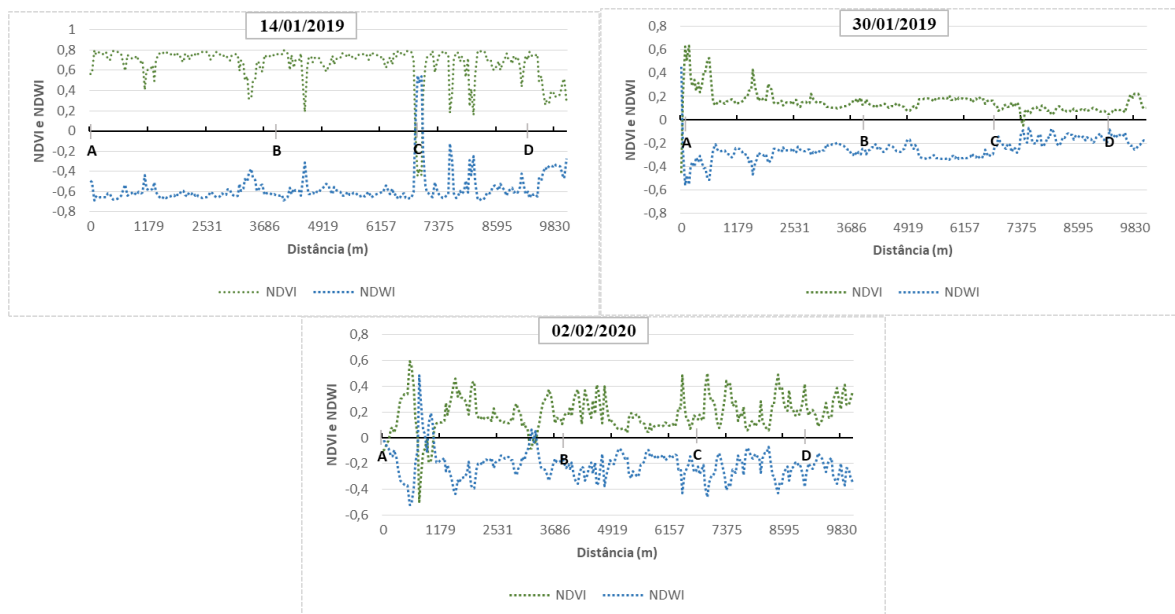
Figura 10 – Localização do Perfil.



Fonte: Os autores (2020).

Na Figura 11 estão os gráficos de NDVI e NDWI para as três datas observadas. Ao longo dos perfis é possível identificar uma redução no NDVI entre 14/01/2019 e 30/01/2019, e que em 02/02/2020 o NDVI varia muito no perfil. De forma inversa, o NDWI aumenta seus valores entre as duas primeiras datas e também varia bastante na última.

Figura 11 – Perfis NDVI e NDWI.



Fonte: Os autores (2020).

O rompimento da barragem de rejeitos no complexo minerário Córrego do Feijão gerou mudanças de cobertura da terra muito significativas (PEREIRA, CRUZ e GUIMARÃES, 2019). Resultados semelhantes a esses foram encontrados por Resende, Silva Júnior e

Espíndola (2019) que utilizaram duas imagens do Landsat 8 com datas diferentes considerando dois períodos (antes e depois do rompimento). Através da elaboração de mapas, os autores notaram nas áreas atingidas pela lama a ausência de vegetação.

#### 4. CONCLUSÃO

O rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão causou mudanças de cobertura da terra muito significativas. As alterações detectadas apontam para ocorrência de graves impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do desastre. A utilização de técnicas de SR aliadas a técnicas de SIG possibilitaram analisar e identificar mudanças no município de Brumadinho e na região específica afetada pelo rompimento da barragem. Mapas de NDVI e NDWI da região, antes e depois do rompimento da barragem, possibilitaram a identificação do impacto causado por esse evento, tendo em vista que, por meio deles, foi possível observar as áreas afetadas pela lama, que ficaram bem definidas visualmente através das mudanças nas cores da classificação adotada.

Os mapas obtidos nesse trabalho mostraram que o SR e o ambiente SIG se destacam sendo ferramentas importantes para auxiliar na análise da situação ambiental de uma determinada região. Os métodos empregados neste trabalho são bastante viáveis para análises desse tipo e, quando associados com outras fontes de dados confiáveis, possibilitam a obtenção de resultados satisfatórios.

Apesar dos resultados apontarem para um melhor conhecimento do cenário ambiental da área analisada, outros estudos mais aprofundados ainda são necessários para se ter melhor conhecimento das mudanças e impactos ocorridos na região. O comportamento espectral de alguns alvos pode se assemelhar ao de outros e com isso gerar valores de índices muito próximos em alvos distintos, por isso é importante o estudo do comportamento espectral dos alvos e, quando possível, uma verificação em campo dos resultados obtidos por meio do processamento dos dados.

#### Referências

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A., “Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil”, *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, João Pessoa-PB, 3693- 3699, 2015.

GALVÍNCIO, J. D.; PREIRA, J.A.S.; FRANÇA, L. M. A.; LINS, T. M. P. Análise da variação da vegetação dos períodos secos e chuvosos através do savi e albedo de superfície no município de Belo Jardim – PE. *Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 10, n. 2, 133-146 p. Disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:LF5xgaVMRYsJ:www.revistared.e.ufc.br/rede/article/view/389/115+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=br>. Acesso em 20 de julho de 2020.

IBAMA. **Rompimento de barragem da Vale em Brumadinho (MG) destruiu 269,84 hectares, 2019**. Disponível em < <https://www.ibama.gov.br/noticias/730-2019/1881-rompimento-de-barragem-da-vale-em-brumadinho-mg-destruiu-269-84-hectares>> . Acesso em 10 de Abril de 2020.

LUO, D.; GOODIN, D. G.; CALDAS, M. M. Spatial–Temporal Analysis of Land Cover Change at the Bento Rodrigues Dam Disaster Area Using Machine Learning Techniques. **Remote Sensing**, v. 11, 2548 p. 2019

MCFEETERS, S.K., 1996. “The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 1425–1432.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D., SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, 1209-1217, 2012.

OSUL. Desde 2000, o Brasil tem um rompimento de barragem a cada dois anos. Disponível em: <<https://www.osul.com.br/desde-2000-o-brasil-tem-um-rompimento-de-barragem-a-cada-dois-anos-veja-lista/>>. Acesso em: 10 de março de 2020.

PEREIRA, L. F.; CRUZ, G. B.; 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**, v. 04, n. 02, 122-129 p. 2019.

POLIDORIO, A. M.; IMAI, N.; TOMMASELLI, A.M.G. Índice indicador de corpos d’água para imagens multiespectrais. In: Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO), 1, 2004, Recife. **Anais**.Recife: UFPE, 2004. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/>>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

RAJCHANDAR, P.; BHOWMIK, A.K.; CABRAL, P.; ZAMYATIN, A.; ALMEGDADI, O.; WANG, S. Modelling Urban Sprawl Using Remotely Sensed Data: A Case Study of Chennai City, **Tamilnadu. Entropy**, v. 19, 163p. 2017.

RESENDE, L. C. R.; SILVA JÚNIOR, R. R.; ESPÍNDOLA, G. M. SIG para análise de áreas afetadas por rompimento de barragens de rejeito: caso Brumadinho – MG. **Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC**, Palmas - TO, p. 1- 5, 2019.

RODRIGUES, W. B.; MORAIS, F.; PASCHOAL, L. G. , “Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) calculado para estações chuvosas e secas na bacia do Córrego Barreiro, Lagoa da Confusão – TO”, **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada** , Campinas-SP, 254- 263, 2017.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W., 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Prog. Rep. RSC** 1978-1. Remote Sensing Cent. Texas A&M University, College Station.

RUHOFF, A. L.; SILVA NOVO, B. B.; ROCHA, H. R. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT

8 OLI. **Anais**. VVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa-PB, p. 4495- 4502, 2015.

SILVA, C. C. S.; SILVA, S. M. L. Monitoramento da ocupação urbana por meio de índices ndvi e ndbi a partir de imagens landsat-5 do parque estadual da serra da tiririca, **Anais** do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositicarta, 1-4, 2017.

USGS. **United States Geologic Survery. Catálogo USGS**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 08 de abril de 2020.

ZUO, C.; MA, F.; HOU, J. Representatives of mining subsidence analysis visualization of China. **Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao** , v. 33, p. 788–792.2014.