Análise do grau de severidade em área queimada no Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia: estudo comparativo em dados dos sensores MUX-IRS\CBERS-4 e OLI\LANDSAT-8

Sarah Moura Batista dos Santos [1]
Cândida Caroline Souza de Santana Leite [1]
Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha [1]
Gustavo Macedo de Mello Baptista [1,2]
António José Bento Gonçalves [3]

1 Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS
Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
CEP 44036-900 - Feira de Santana - Ba, Brasil
{saamoura, candidaleite.geo, francarocha,}@gmail.com

2 Universidade de Brasília, Instituto de Geociências
UnB/IG Campus Darcy Ribeiro
Caixa Postal 4465 - 70910-900 -Asa Norte - Brasília- DF
gmbaptista@unb.br

3 Universidade do Minho - UMINHO
Instituto de Ciências Sociais, Departamento de Geografia
CEP 4800-058 - Guimarães, Portugal
bento@geografia.uminho.pt

Abstract. The detection of fires by orbital data can be done using specific techniques, such as the Normalized Burn Ratio (NBR), which assists in the identification of burned areas, since the affected ones present characteristic spectral responses. More sophisticated studies use satellite data to map different types of fire severity present within burned areas. The objective of this work is to apply the indices NBR and dNBR to identify burnings and their degree of severity. Data from the MUX - IRS (CBERS - 4) and OLI (LANDSAT - 8) sensors were used, performing a comparative analysis between the results found on different sensors. The obtained data were preprocessed and properly prepared for the calculation of the indices and the results for the different satellite images used were confronted visually and statistically. We conclude that the use of NBR and dNBR is an important tool for the burned area classification in the study area. It was also observed that the results obtained with the Landsat-8 image presented better efficiency in relation to the CBERS-4 data for the identification of burnings and their severity.

Keywords: Fire Severity; Normalized Burning Index; Chapada Diamantina National Park; Image processing.
Palavras-chave: Severidade de Incêndios; Índice Normalizado de Queimada; Parque Nacional Chapada Diamantina; Processamento de imagens.

1. Introdução

No manejo de áreas de conservação é essencial analisar o impacto de uma queimada no ecossistema. Para tanto, são desenvolvidos estudos para mapear diferentes tipos de severidade do fogo presentes dentro de áreas queimadas (ROY et al., 2006). A partir de uma perspectiva alargada, a severidade do fogo pode ser definida como o grau de alteração do solo e da vegetação causada pelo fogo (ESCUIN et al., 2008). Dessa forma, a severidade da queimada quantifica os efeitos de curto prazo do fogo como o consumo de combustível e alteração do solo (VERAVERBEKE, STAVROS, HOOK, 2014).

O termo muitas vezes usado como sinônimo de severidade de queimada é gravidade da queimada, que representa tanto os efeitos de curto e longo prazo, por exemplo, recuperação pós-fogo (KEY e BENSON, 2006; VERAVERBEKE, STAVROS, HOOK, 2014; PARKER; LEWIS; SRIVASTAVA, 2015). Logo, a severidade da queimada descreve a resposta dos ecossistemas ao fogo e pode ser usada para descrever os efeitos do fogo sobre o solo (gravidade da queimada no solo), sistema de água, flora dos ecossistemas e da fauna, ambiente e sociedade (BENTO-GONÇALVES et al., 2012). De tal modo, a severidade é um produto da intensidade da queimada, dado que é uma resposta à quantidade de energia (calor) liberada durante a queima, que normalmente reflete a intensidade do fogo.

Alguns estudos apontam que as cinzas podem ser utilizadas como um indicador da severidade de um incêndio, uma vez que, é o produto da combustão de biomassa, considerando a cinza como o lixo orgânico e inorgânico produzido pelo fogo, visto que, existe oxidação da matéria orgânica (BENTO-GONÇALVES et al., 2012; PARKER, LEWIS, SRIVASTAVA, 2015). No entanto, é difícil mapear níveis de severidade em grandes incêndios utilizando métodos tradicionais, especialmente quando a área afetada tem uma topografia complexa, com encostas íngremes, áreas inacessíveis e vegetação heterogênea anterior (ESCUIN et al., 2008).

Após a queima da vegetação, uma série de mudanças ocorrem devido ao fogo consumir a vegetação, deixando o solo nu e alterando a umidade do mesmo. Assim, o Sensoriamento Remoto fornece abordagens viáveis para descrever padrões de fogo nos diversos ecossistemas, considerando que as imagens de satélite são muitas vezes usadas para delinear perímetros de fogo e caracterizar mosaicos de gravidade do mesmo (KEY e BENSON, 2006; MENG e MEENTEMEYER, 2011; SUNDERMAN e WEISBERG, 2011; VERAVERBEKE et al., 2014; PARKER et al., 2015).

Portanto, a detecção das queimadas por dados de imagens de satélite pode ser feita com uso de técnicas específicas, como o cálculo do índice de queimada por razão normalizada (Normalized Burn Ratio - NBR), um tipo de índice de vegetação que auxilia na identificação de áreas queimadas, uma vez que, apresentam respostas espectrais típicas. A remoção da vegetação e a deposição de carvão pela ação do fogo geralmente resulta em uma redução de reflectância do infravermelho próximo (NIR) pós-fogo e elevada reflectância no infravermelho de ondas curtas (SWIR) pós-fogo (KEY e BENSON, 2006).

Este índice é apropriado para a detecção de alterações da paisagem induzida pelo fogo e é considerado eficaz para a identificação de áreas ardidas, uma vez que, as mudanças na reflectância do NIR geralmente indicam mudanças na vegetação fotossinteticamente ativa, que são suscetíveis de serem reduzidas pelo fogo, enquanto que as mudanças na reflectância do SWIR são associadas com a redução da vegetação fotossinteticamente ativa, teor de umidade, a deposição de cinzas e aumento da exposição do solo (ROGAN e YOOL, 2001; KEY, 2006; WIMBERLY e REILLY, 2007; SUNDERMAN e WEISBERG, 2011; PARKER et al., 2015).

A diferença multitemporal do NBR é o índice diferenciado de queimada por razão normalizada (differenced Normalized Burn Ratio - dNBR) que visa avaliar a extensão e a severidade da queimada por meio da relação entre o NBR antes da queimada e após o evento. Ele permite compreender o gradiente de severidade (TEOBALDO e BAPTISTA, 2013) e foi assumido como sendo diretamente proporcional à intensidade do fogo e amplamente utilizado para mapear a severidade de incêndios (KEY e BENSON, 2006; ROY et al., 2006).

Por todas estas razões, a análise de imagens de satélite, constitui uma ferramenta valiosa para o mapeamento de áreas queimadas e avaliação de severidade do fogo, desde que se empregue intervalos espectrais e resolução espacial adequadas (ESCUIN et al., 2008). Pode ser aplicada para a delimitação do perímetro da queimada, bem como na identificação dos níveis de severidade em seu interior, aprimorando o processo de tomada de decisão destinado a restabelecer as áreas afetadas e permitindo uma análise dos efeitos do fogo sobre a vegetação de sucessão pós-fogo. Para tanto, o objetivo deste trabalho é realizar a aplicação do Índice NBR

e dNBR, para identificação de queimadas e seu grau de severidade, em imagens do sensor MUX e IRS do CBERS-4 (China-Brazil Earth Resources Satellite) e no sensor OLI do satélite LANDSAT- 8 e realizar análise comparativa entre os resultados encontrados nos diferentes sensores.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

O desenvolvimento desse estudo é baseado em uma área queimada em 2015 no Parque Nacional da Chapada Diamantina (Figura 1). A queimada ocorreu numa região denominada de Gerais do Rio Preto até o Gerais do Vieira no mês de setembro de 2015, afetando uma vegetação de gerais, que se caracteriza por ser uma vegetação herbácea que ocorre acima de 1000m de altitude, as espécies, em geral, são rasteiras com, até 30 centímetros de altura (FUNCH et al., 2009; NEVES e CONCEIÇÃO, 2010). A elevação da área varia entre 1200m a 1600m, com solos dos tipos neossolos e latossolos (ICMBIO, 2007). A seleção dessa queimada se deu por ser uma região de grande fluxo de turistas, presença de animais por sofrer recorrentes eventos de queimadas.

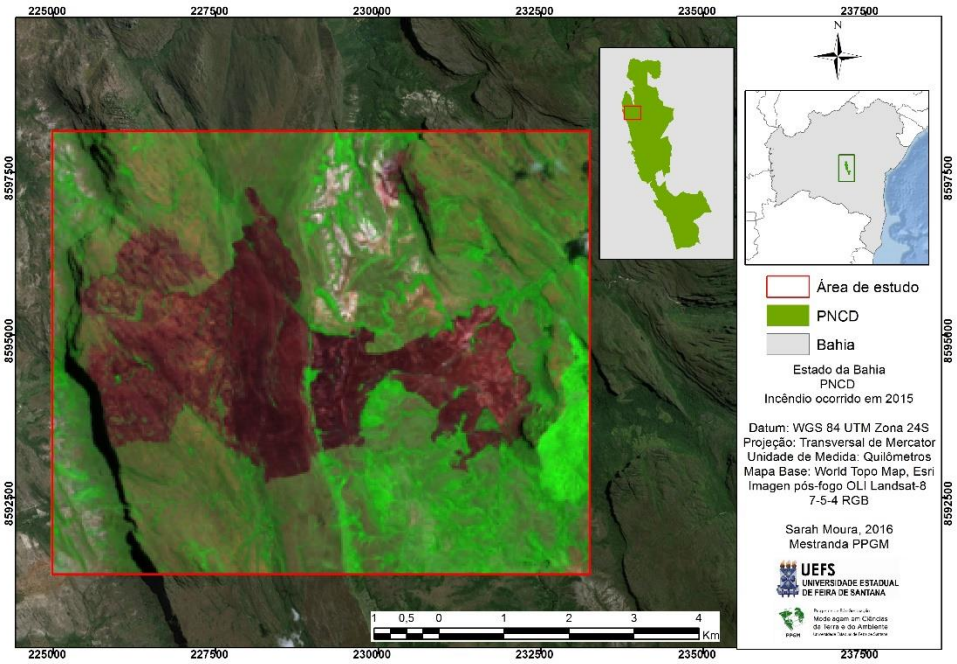

Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo. Em verde, no mapa menor, está representado o Parque Nacional da Chapada Diamantina. Em vermelho a delimitação da área estudada. A imagem pós-fogo correspondente à área estudada é do sensor OLI Landsat-8 7-5-4 RGB.

2.2. Aquisição e processamento de dados

Foram utilizadas 2 imagens de satélite, sendo uma do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat-8, a cena foi adquirida, por meio do catálogo de imagens disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), pelo portal *Earth Explorer*. A segunda imagem é dos sensores MUX e IRS a bordo do CBERS-4 (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), sendo adquirida, por meio do catálogo de imagens disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Brasileiro (INPE), pelo endereço eletrônico (http://www2.dgi.inpe.br/CDSR/).

A Tabela 1 mostra as datas das imagens utilizadas neste trabalho. Elas foram selecionadas de forma que a data da cena após a queimada fosse a mais próxima da sua ocorrência, além de uma cena anterior aos incêndios.

Tabela 01 - Características das imagens OLI/LANDSAT-8 e MUX/IRS/CBERS-4.

Satélite	LANDSAT-8	CBERS-4	
Sensor	OLI	MUX	IRS
Bandas espectrais	NIR (B5) e SWIR (B7)	NIR (B8)	SWIR (B11)
Resolução espacial	30m	20m	40m
Órbita/Ponto	217/69	152/114	152/114
Data pré fogo	24/08/2015	08/09/2015	08/09/2015
Data pós fogo	25/09/2015	04/10/2015	04/10/2015

As bandas do sensor MUX/CBERS-4 foram reamostradas para a resolução espacial de 40 metros, com auxílio do método de reamostragem vizinho mais próximo (MELO; PACHECO, 2004), de modo a compor com as bandas do sensor IRS/ CBERS-4 uma única imagem, bem como, foi realizado o mesmo processo para as bandas do sensor OLI/LADSAT-8. Após esse procedimento foi realizado o cálculo dos índices conforme as equações 1 e 2:

$$NBR = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR) \quad \text{Equação (1)}$$

$$dNBR = NBRpré - NBRpós \quad \text{Equação (2)}$$

Onde,

- NBRpré: correspondente a cena antes da queimada para imagens CBERS-4 e LANDSAT-8;
- NBRpós: correspondente a cena após a queimada para imagens CBERS-4 e LANDSAT-8;

Após o cálculo dos índices foi determinado limiares de mudança entre as classes não queimada, baixa severidade e moderada severidade. Esses limiares foram determinados em termos dos valores do índice de cada grupo de pixels, de acordo com o nível de gravidade entre eles. Com os resultados obtidos na análise de separabilidade e de correlação foi possível perceber qual imagem tem maior capacidade para avaliar a severidade de queimada. O critério dos múltiplos desvios padrões foi seguido:

$$X\ limiar = \bar{X} \pm a\sigma \quad \text{Equação (3)}$$

$\bar{X} = média\ dos\ dados$
$a = constante$
$\sigma = desvio\ padrão$

3. Resultados e Discussão

A partir dos cálculos das equações 1, foi possível observar os valores de NBRpré e NBRpós para as imagens utilizadas. O NBR mede a diferença entre o NIR e SWIR, portanto os pixels com resposta positiva representam vegetação produtiva. NBR próximo a "0" indica que podem ocorrer nuvens, gramíneas, solo exposto ou afloramento rochosos. Para tanto, se os pixels apresentam NBR negativos, isto sugere grave estresse hídrico em plantas e o traço negativo criado dentro de queimadas, sendo importante considerar que os resultados de recentes queimadas, normalmente variam de "0" para fortemente negativo (KEY e BENSON, 2006).

A figura 2 apresenta o histograma NBRpré e NBRpós obtidos a partir do cálculo realizado na imagem Landsat-8. Foi verificada a correlação entre os índices com valor de r = 0,8. Para os dados de NBRpré verificou-se que os pixels variaram entre -32 e +499; já os dados de NBRpós apresentaram-se no intervalo entre -195 e +527 (Tabela 2). O histograma NBRpré e NBRpós

para a imagem Cbers-4 é apresentado na figura 3, a correlação foi de r = 0,5. Os dados de NBRpré tanto quanto NBRpós apresentaram pixels com valores entre -1000 a +1000 (Tabela 2). Outro aspecto a ser destacado na análise dos histogramas de pré-fogo é que ambos são assimétricos, porém o do Landsat-8 apresenta maiores frequências para valores menores, até 150, com tendência de decréscimo a partir de então e o do CBERS 4, apresenta formato inverso. Já o histograma pós-fogo da imagem Landsat-8 é bimodal, enquanto o da imagem Cbers-4 apresentou inversão, com valores mais frequente menores.

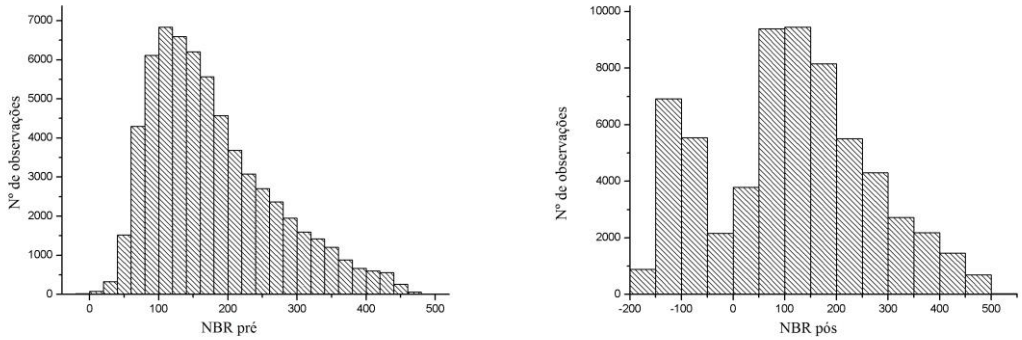

Figura 2 – Histograma NBRpré e NBRpós computados dos dados obtidos a partir do sensor OLI/Landsat-8 para a área de estudo.

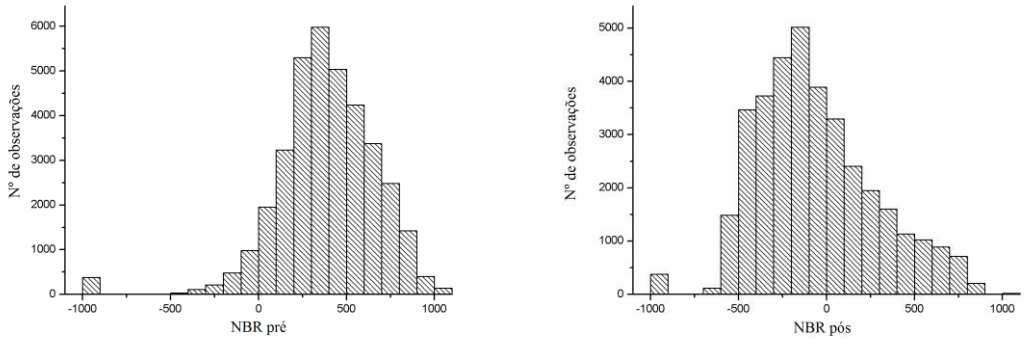

Figura 3 – Histograma NBRpré e NBRpós computados dos dados obtidos a partir do sensor MUX e IRS/Cbers-4 para a área de estudo.

Tabela 02 – Faixa teórica e observadas considerando os pixels correspondentes aos índices

	Teórico	OLI Landsat-8	MUX/IRS Cbers-4
dNBR	[-2000, +2000]	[-299, +432]	[-1000, +1561]
NBRpós	[-1000, + 1000]	[-195, +527]	[-1000, +1000]
NBRpré	[-1000, + 1000]	[-32, +499]	[-1000, +1000]

Com o cálculo da equação obtivemos o dNBR e verificou-se que os valores variam entre -299 a +432 para os dados do Landsat-8 e entre -1000 a +1561 para os dados Cbers-4 (Tabela 2). Consequentemente nas figuras 4 e 5 destacam-se os dados dNBR para a área queimada, e com a aplicação dos transectos foi possível avaliar os valores, para tanto, destacam-se picos com valores positivos mais próximos a "0" para as áreas não queimada e valores positivos até 300 para as áreas queimadas, comportamento que é verificado tanto nos dados do Landsat-8 como no Cbers-4. Este fato pode ser explicado pela presença de vegetação em algumas manchas, solo exposto ou até mesmo afloramento rochoso, bem como em sua maioria do material carbonizado.

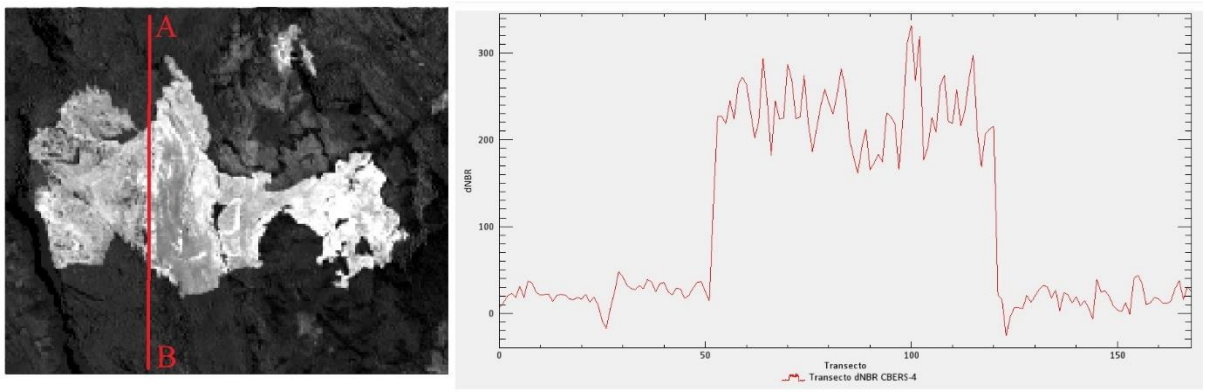

Figura 4 – Perfil espectral em detalhe de área queimada obtidos com dados do sensor OLI/Landsat-8 mostrando a tendência de valores de dNBR.

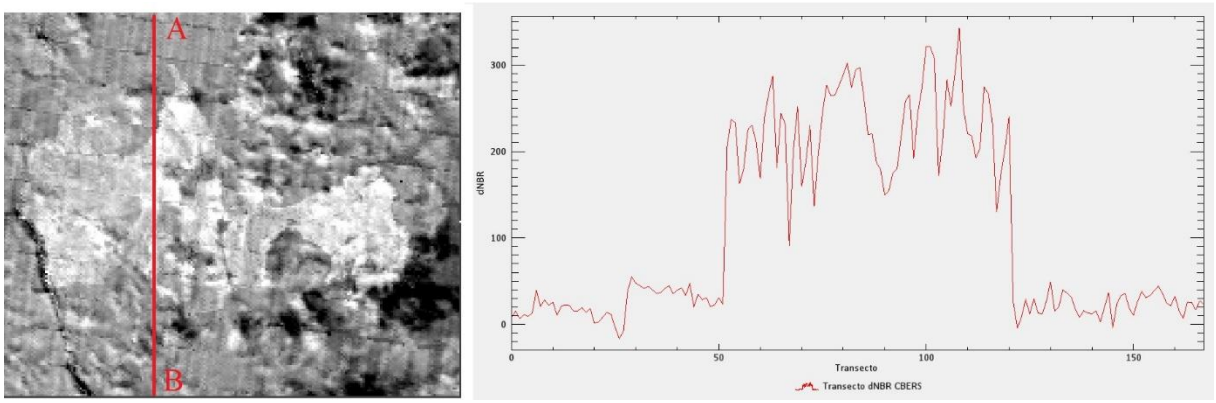

Figura 5 – Perfil espectral em detalhe de área queimada obtidos com dados do sensor MUX e IRS/Cbers-4mostrando a tendência de valores de dNBR.

A figura 6 apresenta as classes de severidade de queimada da área estudada conforme obtido nas imagens utilizadas no desenvolvimento desse estudo. É importante considerar que os efeitos da severidade mostram variações dentro de uma mesma área queimada (ROY et al., 2006). A determinação do perímetro do fogo, bem como a sua distribuição e dos níveis de severidade em seu interior facilitam a tomada de decisões, uma vez que, esse tipo de informações são uteis para os gestores de unidades de conservação que querem entender os efeitos do fogo nos processos do ecossistema, por exemplo a recuperação da vegetação e sua sucessão pós-fogo (KEY e BENSON, 2006; ESCUIN et al., 2008).

Logo, observamos que os resultados obtidos a partir dos dados do sensor OLI/Landsat-8, mostram-se eficientes para a delimitação da área queimada bem como da classificação de diferentes severidades (ver figura 6). Os resultados das análises do comportamento do dNBR, de acordo com o nível de severidade, demonstram que os índices NBR pré e pós fogo são adequados para a delimitação entre pixels não queimados e queimados por incêndios, enquanto o índice dNBR agrega a isso a discriminação dos graus de severidades experimentadas.

Os dados do sensor MUX e IRS/Cbers-4, se apresentam menos eficientes para a delimitação do perímetro do fogo (Figura 6), confundindo áreas não queimadas com áreas queimadas. Esse fato pode ser atribuído a uma possível confusão na diferenciação de pixels de queimadas em relação a pixels de solos expostos ou até mesmo afloramento rochoso. Nesse sentido é bastante importante a continuidade de desenvolvimento de trabalhos que busquem a aplicação de índices espectrais de queimadas em dados do Cbers-4.

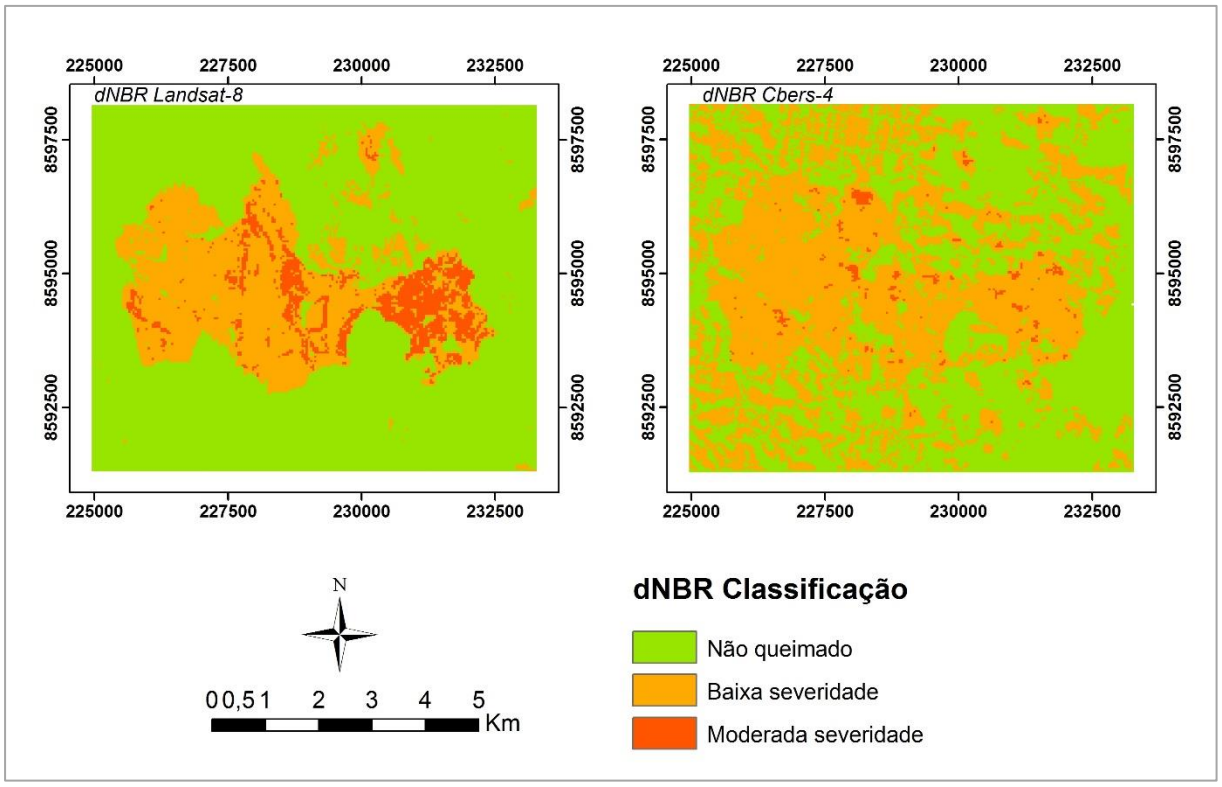

Figura 6 – Comparação das severidades de queimadas identificadas pelo índice dNBR para a área de estudo com diferentes imagens de satélite (Landsat-8 e Cbers-4).

4. Conclusões

O índice NBR mostrou-se sensível aos deslocamentos pré e pós fogo dos pixels afetados pelos incêndios no espaço SWIR-NIR tanto na imagem Landsat-8, quanto a Cbers-4. No entanto, o índice dNBR mostrou-se mais consistente quando obtido com dados da imagem Landsat-8. A partir da metodologia aplicada nesse trabalho pode-se perceber que o índice de diferença pré e pós fogo (dNBR) é adequado para realizar a discriminação entre pixels não queimados e pixels afetados pelo fogo. É sugerido a realização de estudos adicionais com novos dados oriundos do Cbers-4 para identificação de áreas queimadas, uma vez que houve pouca disponibilidade dessas imagens para a área selecionada.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb), pela concessão da bolsa de mestrado (Nº BOL0141/2015). Ao Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas). Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Terra e do Ambiente. Ao Campus Avançado da Chapada Diamantina da Universidade Estadual de Feira de Santana. E ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) por todo apoio.

Referências Bibliográficas

BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D. Fire and soils: Key concepts and recent advances. **Geoderma**, v. 191, p. 3–13, 2012.

ESCUIN, S.; NAVARRO, R.; FERNÁNDEZ, P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 4, p. 1053–1073, 2008.

FUNCH, L. S.; SANTANA, R. Serra do Sincorá: Parque Nacional da Chapada Diamantina. Radami, 2008.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes. Plano de Manejo Para o Parque Nacional da Chapada Diamantina, 2007.

KEY, C. H. Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity. **Fire Ecology**, v. 2, n. 2, p. 34–59, 2006.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape assessment: Sampling and analysis methods USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-164-CD, 2006.

MELO, D. F.; PACHÊCO, A. P. Aspectos da correção geométrica de imagens orbitais. Anais: I SIGEO, 2004.

MENG, Q.; MEENTEMEYER, R. K. Modeling of multi-strata forest fire severity using Landsat TM data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, n. 1, p. 120–126, 2011.

NEVES, S. P. S. & CONCEIÇÃO, A. A. Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. **Acta bot. bras.** 24(3): 697-707, 2010.

PARKER, B. M.; LEWIS, T.; SRIVASTAVA, S. K. Estimation and evaluation of multi-decadal fire severity patterns using Landsat sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 170, p. 340–349, 2015.

ROGAN, J.; YOOL, S. R. Mapping fire-induced vegetation depletion in the Peloncillo Mountains, Arizona and New Mexico. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 16, p. 3101–3121, 2001.

ROY, D. P.; BOSCHETTI, L.; TRIGG, S. N. Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the Performance of the Normalized Burn Ratio. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 1, 2006.

SUNDERMAN, S. O.; WEISBERG, P. J. Remote sensing approaches for reconstructing fire perimeters and burn severity mosaics in desert spring ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 9, p. 2384–2389, 2011.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. M. Quantificação do Grau de Severidade de Queimada em Unidades de Conservação no Distrito Federal por meio dos Índices Espectrais dNBR e RdNBR. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE, 2013.

VERAVERBEKE, S.; STAVROS, E. N.; HOOK, S. J. Assessing fire severity using imaging spectroscopy data from the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) and comparison with multispectral capabilities. **Remote Sensing of Environment**, v. 154, p. 153–163, 2014.

WIMBERLY, M. C.; REILLY, M. J. Assessment of fire severity and species diversity in the southern Appalachians using Landsat TM and ETM+ imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n. 2, p. 189–197, 2007.