

ANÁLISE DOS INCÊNDIOS OCORRIDOS NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DIAMANTINA-BAHIA EM 2008 E 2015 COM SUPORTE EM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO

Analysis of Wildfire that Occurred at Chapada Diamantina National Park-Bahia in 2008 and 2015 with Support of Vegetation Spectral Indices

**Cândida Caroline Souza de Santana Leite¹, Sarah Moura Batista dos Santos²,
Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha²,
Ardemírio de Barros Silva² & Gustavo Macedo de Mello Baptista^{2,3}**

¹Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

Departamento de Ciências Humanas e Filosofia

Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte / CEP 44036-900 - Feira de Santana – Bahia, Brasil
candidaleite.geo@gmail.com

²Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

Programa de Pós Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte / CEP 44036-900 - Feira de Santana – Bahia, Brasil
{saamoura; francarochoa; abarros}@gmail.com

³Universidade de Brasília – UnB

Instituto de Geociências

Campos Universitário Darcy Ribeiro / CEP 70910-900 - Brasília- DF, Brasil
gmbaptista@unb.br

Recebido em 16 de Junho, 2017/ Aceito em 16 de Julho, 2017

Received on June 16, 2017/ Accepted on July 16, 2017

RESUMO

A ocorrência de incêndios na vegetação em áreas protegidas constitui uma das graves ameaças à conservação da biodiversidade nestas áreas. O Parque Nacional da Chapada Diamantina (Bahia) se inclui entre as Unidades de Conservação com maior quantidade de focos de incêndios do Brasil. Neste sentido, a presente pesquisa propõe-se a identificar as áreas acometidas por incêndios nos anos 2008 e 2015, dentro da extensão do Parque, utilizando os índices espectrais *NBR* e *NDVI*, visto que nesses anos ocorreram os últimos maiores episódios registrados. E, a partir das respostas espectrais dos índices, quantificar as áreas queimadas nos anos estudados. Deste modo, os resultados obtidos a partir da metodologia utilizada foram mapas elaborados com base nas imagens índices, os quais destacam as cicatrizes dos incêndios ocorridos e possibilitam analisar a extensão destas. Assim, ao comparar os resultados do recorte temporal analisado pode-se inferir que os episódios de incêndios mais intensos e numerosos ocorreram no ano 2008, totalizando 36975 hectares em área queimada pelo índice *NBR* e 35304 hectares pelo *NDVI*. Utilizou-se registros de focos de calor elaborados a partir de dados do satélite *NOAA*, a fim de validar as cicatrizes. Por fim, destaca-se a eficácia do índice *NBR* no mapeamento de áreas queimadas, sobre o *NDVI*, atentando-se para o fato deste último confundir nuvens com valores semelhantes aos de locais queimados.

Palavras-chave: Índices Espectrais, Incêndios Florestais, Focos de Calor e Cicatrizes de Incêndios.

ABSTRACT

The occurrence of fires in the vegetation of protected areas represent one of the most serious threats to the biodiversity conservation in these areas. The Chapada Diamantina National Park, in the state of Bahia, is considered one of the Conservation Units with the largest number of wildfires in Brazil. Based on this, the main purpose of this paper is to identify and quantify the burned areas inside the park in 2008 and 2015, using NDVI and NBR spectral indices, and to quantify the burned areas from spectral indexes responses. These years were chosen since in both occurred the major fire episodes recorded in the last years. The results obtained were presented through maps produced from the application of the indices, which highlighted the occurred fire scars and allowed the analysis of their extension. After comparing the results of the analyzed temporal cut, it was verified that the most intense and numerous fire episodes occurred in 2008, totaling 36975 and 35304 hectares of burned area by NBR and NDVI, respectively. The fire scars were checked by hot spot data from the National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA satellite. Finally, NBR was found to be more efficient in the mapping of burned areas compared to NDVI, especially considering that NDVI confuses cloud values with similar values in burned areas.

Keywords: Spectral Indices, Wildfires, Hot Spots, Fire Scars.

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios na vegetação são considerados como uma das maiores causas de danos à conservação da biodiversidade e da geodiversidade, de modo a, frequentemente, constituírem uma perturbação a ecossistemas, principalmente em regiões savânicas e campestres (FRANCA-ROCHA *et al.* 2017; MIRANDA *et al.*, 1996; GONÇALVES *et al.*, 2011). A depender da sua frequência e intensidade, os episódios de incêndio podem implicar na redução da densidade arbórea de espécies lenhosas, na perda da diversidade, bem como, na capacidade de rebrota, diminuição da altura e diâmetro dos organismos (FIEDLER *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2011). A degradação causada pelos incêndios florestais afeta desde os micro-organismos até vegetações e animais de maior porte (OLIVEIRA, 2015).

Tatagiba (2010), assim como Neves e Conceição (2010), afirmam que o fogo favorece o florescimento de determinadas espécies vegetativas, em especial fisionomias mais abertas, as quais florescem e frutificam em profusão após a queima. No entanto, a perda da diversidade se torna gradual à medida que essas incidências se tornam muito frequentes.

Segundo Medeiros e Fiedler (2003), bem como o IBAMA (2005) in Tatagiba (2010) o uso incorreto do fogo em atividades antrópicas, como agricultura e pecuária, relacionado à renovação de pastagens e limpeza de restos de culturas por habitantes locais, é a segunda maior causa de incêndios florestais no mundo e a principal causa da ocorrência de incêndios em Unidades

de Conservação (UC) como o Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD).

Tendo em vista que a criação do PNCD, a partir do Decreto N°. 91.655/1985, culminou na sobreposição de inúmeras comunidades pela área do Parque e, apesar da legislação ambiental não permitir a existência de propriedades privadas no interior de Parques Nacionais, por esse motivo, ocorre até hoje muitas atividades antrópicas em toda extensão desta UC, pois muitas das comunidades tradicionais ainda se encontram instaladas dentro dos seus limites (Lei N° 9985/2000 Art. 11; BORGES & LOBÃO, 2014).

O PNCD foi criado em 1985 com o intuito de proteger amostras representativas dos ecossistemas existentes na Serra do Sincorá (MMA, 2007). No entanto, de acordo com o IBAMA (2008), o PNCD está entre as UCs que apresentam o maior número de focos de incêndio do país, ocorrendo anualmente episódios devastadores em toda área do Parque e seu entorno.

Dessa forma, a presente pesquisa se justifica pela importância de identificar e quantificar as áreas de ocorrência e recorrência de incêndios no PNCD, uma vez que, o conhecimento das áreas mais assoladas por esses episódios pode contribuir em ações preventivas e planejamento de combate mais eficazes.

O Sensoriamento Remoto consiste em uma ferramenta primordial para esta pesquisa, dado que esta tecnologia se mostra particularmente eficaz, por sua praticidade, rapidez e baixo custo, em matéria de obter informações de áreas afetadas pelo fogo (PEREIRA *et al.* 1997;

BETANCURT & SANTOS, 1981 in SAUSEN & LACRUZ, 2015).

De acordo com Silva, Rocha e Angelo (2013), a partir de imagens de satélite é possível obter informações detalhadas e atualizadas sobre a localização e extensão de áreas de queimadas, sendo assim, uma forma importante para detecção de incêndios florestais como demonstram Malingreau (1984), Flanigan (1985), Pereira (1987), França (2001), Lombardi (2009), Sausen & Lacruz (2015), entre outros pesquisadores.

Dentre as várias possibilidades de se utilizar as imagens orbitais como instrumento em pesquisas relacionadas à ocorrência de incêndios, diversos estudos atestam a eficácia dos índices espectrais, visto que estes podem detectar as marcas deixadas pelo fogo na vegetação baseando-se nas diferentes respostas espectrais (KEY & BENSON, 2006; RAZAFIMPANILO *et al.*, 1995).

No presente estudo, foram testados dois índices espectrais, sendo eles, o Índice de Queimada Normalizada (*Normalized Burn Ratio- NBR*) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index- NDVI*).

O primeiro foi desenvolvido por Key e Benson (2006), e consiste em um método de identificação de cicatrizes deixadas por uma queimada, baseando-se na diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas, conseqüentemente diferenciando os comportamentos espectrais da vegetação queimada e da vegetação sadia (ALLEN & SORBEL, 2008).

Do mesmo modo, o índice *NDVI* (ROUSE *et al.*, 1973) consiste em uma operação de divisão de bandas, baseada na diferença entre a reflectância no vermelho e no infravermelho próximo, que distinguem pixels que contém vegetação sadia e vegetação não sadia.

Meneses e Almeida (2012) afirmam que o *NDVI* tende a ser linearmente proporcional à biomassa, o que traz confiabilidade em relação aos seus resultados.

O estudo teve como foco os incêndios ocorridos nos anos de 2008 e 2015, uma vez que nesses anos ocorreram os dois últimos episódios de grandes incêndios no PNCD (FRANCA-ROCHA *et al.*, 2017). Com base em dados extraídos do satélite *NOAA* verificou-se nos anos supracitados, respectivamente, 246 e 115 focos de calor na área do PNCD (INPE, 2017).

Dessa forma, a presente pesquisa objetiva identificar as áreas acometidas pelos incêndios dos anos 2008 e 2015, dentro do Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, de modo a utilizar e comparar a eficácia dos índices *NBR* e *NDVI*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Durante o andamento deste estudo foram adotados diferentes procedimentos metodológicos, desde o levantamento bibliográfico, como forma de dar embasamento teórico à pesquisa, até a aplicação de diversos processamentos digitais nas imagens de satélite da área estudada. Desse modo, o detalhamento destes são descritos nos subtópicos a seguir.

2.1 Caracterização da área de estudo

O Parque Nacional da Chapada Diamantina está localizado na porção central do Estado da Bahia. Possuindo uma área de 152 mil hectares, sua extensão territorial abrange os municípios de Andaraí, Ibicoara, Itaeté, Lençóis, Palmeiras e Mucugê, sendo este último onde se encontra a maior área do Parque, 47,6 % do mesmo.

Como mostra a Figura 1 o PNCD localiza-se entre as coordenadas UTM 782073.567 - 8627087.939 / 727184.906 - 8539841.777, Zona 24 Sul.

A região da Chapada Diamantina está inserida no bioma Caatinga e, de acordo com Velloso *et al.* (2002), é uma das oito ecorregiões que o constitui.

O clima na região da Chapada Diamantina é abordado por Stradmann (1998) como semiúmido com estações chuvosas bem marcadas entre abril e setembro, sendo que, estudos realizados por Mesquita *et al.*, (2011) e Gonçalves *et al.* (2011) discutem a possibilidade desse período se estender, a depender dos eventos de alteração climática como o El Niño.

A vegetação presente na área de estudo Velloso *et al.* (2002) caracteriza como um mosaico de diferentes formações. Deste modo, a região apresenta grande variedade vegetacional, incluindo formações xerófitas, típicas do bioma Caatinga, formações campestres e rupestres que ocorrem sobre rochas expostas ou litossolos, assim como formações florestais dos tipos decíduais e semidecíduais, associadas ao bioma Mata Atlântica (MMA, 2012).

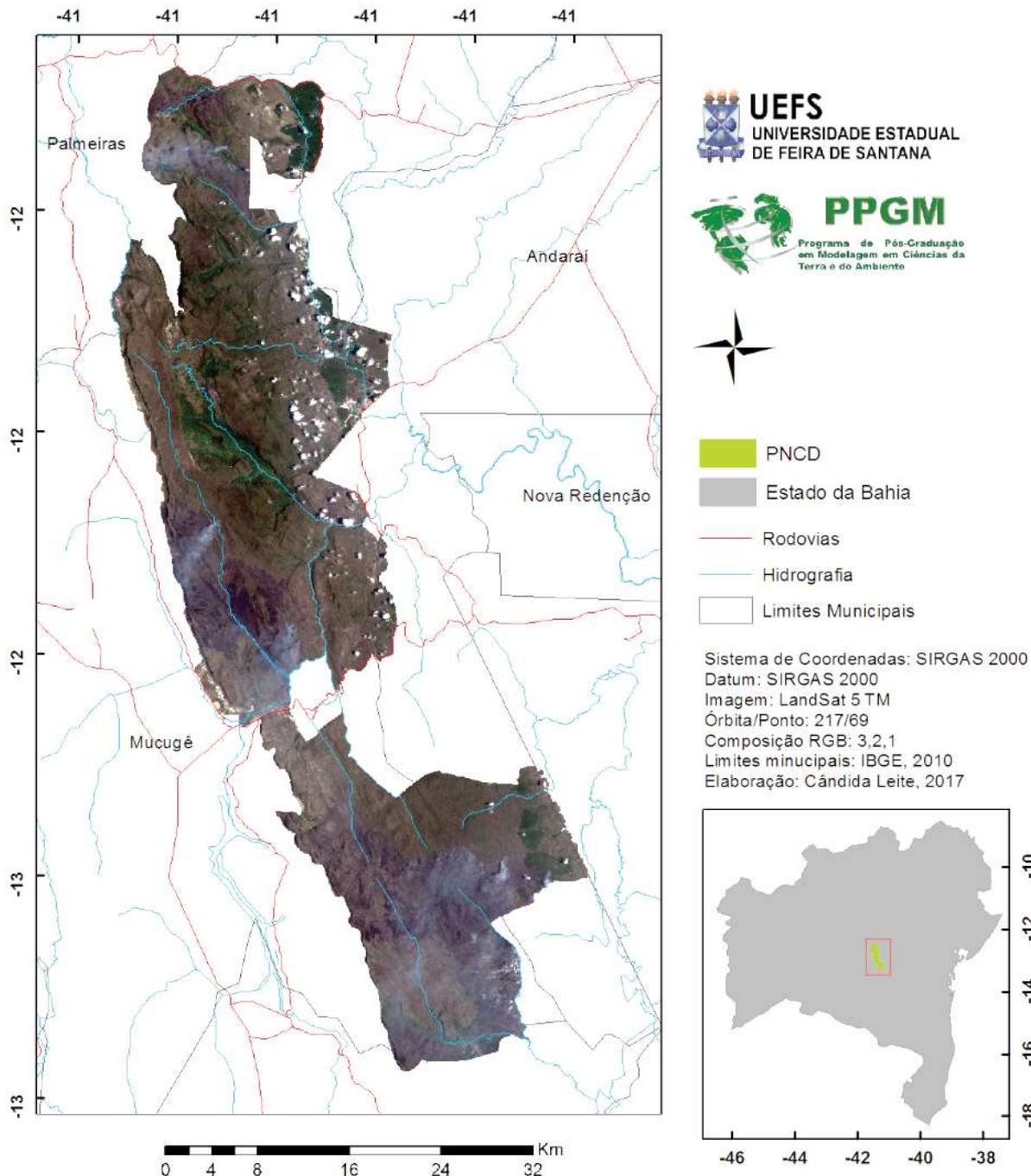


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo.

A Chapada Diamantina como um todo, possui topo aplainado, caracterizando-se como um chapadão, com escarpas em ambos os lados. As altitudes variam entre 500 a 1.000 m, no entanto, nas áreas escarpadas diversos picos chegam a 1.600 e 1.800 m, com alguns pontos acima de 2.000 m.

Uma importante feição geomorfológica existente na região da Chapada é a serra do Sincorá, onde se encontra, toda a área do PNCD. A serra do Sincorá consiste em um planalto com

estruturas dobradas e sub-horizontais fortemente erodidas, alongando-se no sentido norte-sul, com largura média de 25 km (MMA, 2012).

2.2 Aquisição e processamento das imagens de satélite

Para este estudo foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 5* a bordo do sensor *TM*, para o ano de 2008, com data de passagem em 8 de novembro, e *Landsat 8*, sensor *OLI*, para o ano de 2015, com datas de passagem em 14 e 30 de dezembro.

As imagens foram adquiridas através do banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*).

Para o ano de 2015 foram utilizadas duas imagens, de modo a obter a observação das cicatrizes como um todo. Em 14 de dezembro o incêndio ainda estava ativo, e em 30 deste mês havia grande quantidade de nuvens, impossibilitando a visão total do Parque, mas combinando as duas imagens é possível observar as várias cicatrizes e a expansão delas ao final do incêndio.

A princípio, foi realizado o recorte das cenas, para delimitar a área estudada e assim obter maior velocidade no pré-processamento da mesma. Após o recorte, utilizou-se da função *radiometric calibration*, presente na plataforma *ENVI 5.1*, para transformar os números digitais das imagens em valores de radiância, calibrando os dados de radiância e reflectância das mesmas.

Após a calibração radiométrica foi possível realizar a correção atmosférica utilizando o módulo *QUAC (Quick Atmospheric Correction)*, o qual, de acordo com *ENVI (2017)*, efetua a correção atmosférica a partir de modelos empíricos utilizando apenas as informações contidas na cena.

Posterior ao pré-processamento deu-se início ao processamento de fato da imagem, utilizando os índices espectrais escolhidos. Neste sentido foi aplicado nas imagens o índice espectral *NDVI* a fim de verificar as áreas de vegetação densa/sadia, ou seja, com atividade fotossintética ativa, e contrastar às áreas com vegetação fotossinteticamente inativa, ou sem vegetação.

O índice supracitado tem sido bastante utilizado em pesquisas cujo objetivo é avaliar o comportamento espectral da vegetação, tendo em vista que o mesmo consegue auxiliar na redução do efeito topográfico e com isso apresenta uma escala de medida linear, favorecendo a compreensão do pesquisador (*ROUSE et al., 1973*).

Segundo Ramos *et al.* (2010), ao ser calculado, o índice de vegetação por razão normalizada apresenta o resultado da combinação dos níveis de reflectância da imagem, correspondente a uma equação composta pela resposta espectral da banda do infravermelho próximo e do

vermelho, o que, no caso do sensor *TM*, equivalem respectivamente às bandas 3 e 4, enquanto no sensor *OLI* consiste nas bandas 4 e 5.

Dessa forma, a equação 1 representa o cálculo do *NDVI*:

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

Concomitante ao cálculo do índice de vegetação foi processado o *NBR*, conforme expressa a equação 2 que demonstra matematicamente como foi realizado o cálculo do índice:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

Para o ano de 2008, com o sensor *TM* utilizaram-se as bandas 4 para *NIR* e a 7 para o *SWIR*. Já para o ano de 2015, com dados do sensor *OLI*, utilizaram-se as bandas 5 para o *NIR* e a 7 para o *SWIR*.

Ambos os índices funcionam de forma linear com valores variando de -1 a 1, sendo assim, os valores de *NDVI*, apontam diferenças na cobertura vegetal de acordo com a presença e a disponibilidade de recursos naturais para a vegetação (*Gurgel, 2003*).

Por outro lado, *Key & Benson (2007)* ressaltam que os valores negativos de *NBR* estão ligados a áreas com deposição de cinzas e vegetação com grande redução de clorofila.

Subsequente ao processamento digital das cenas foi realizada a quantificação das áreas queimadas, de acordo com cada índice.

Esta última etapa foi realizada com o auxílio da função *slice*, no *software ENVI 5.1*, a qual se baseia na resposta espectral das imagens índice para gerar os histogramas com os valores dos pixels, sendo que ao excluírem-se os valores de vegetação sadia obtém-se apenas a resposta espectral das áreas queimadas, possibilitando o cálculo da área. Tendo em vista a quantidade de nuvens existente na cena de 30 de dezembro, foi realizada a estratificação das classes nuvem, área queimada e área não queimada nas imagens índices.

Para medir a acurácia dos resultados utilizou-se a metodologia proposta por *Anderson et al.*,

(2017), a qual consiste na utilização de pontos aleatórios para gerar uma matriz de confusão, a fim de validar e comparar a exatidão dos índices utilizados. Para esta pesquisa, realizou-se uma pequena modificação na última fase da metodologia supracitada com o intuito de melhor atender as especificidades deste estudo.

Foram consideradas as classes área queimada e área não queimada, e, para eliminar a interferência das nuvens neste processo foi elaborada uma máscara, baseando-se nos valores do fatiamento da imagem índice.

Posterior a estratificação das imagens de ambos os índices foi criado um conjunto de pontos aleatórios para cada classe (área queimada e área não queimada), sendo que a quantidade foi definida proporcionalmente à área ocupada por cada uma.

Neste sentido, para a classe área queimada, resultante do índice *NDVI*, foram criados 350 pontos, enquanto que para a área não queimada deste mesmo índice, foram gerados 250 pontos.

Para a matriz do índice *NBR* foram utilizados 300 pontos para ambas as classes devido a extensão da área ocupada por elas ser semelhante.

Os pontos aleatórios serviram como entrada teste, enquanto a imagem de satélite com composição *RGB 754*, a partir de interpretação visual de três avaliadores, foi utilizada como verdade.

Na interpretação visual cada avaliador vetorizou polígonos determinando áreas de queimadas e não queimadas na cena do Parque. Posteriormente foi efetuada a interseção desses polígonos e, em seguida, a contagem dos pontos aleatórios que coincidem com as áreas classificadas, gerando assim a matriz de confusão.

Para o cálculo da acurácia da matriz foi utilizada a seguinte equação:

$$Acurácia = \frac{Ta}{Td} \quad (3)$$

Na qual, *Ta* consiste no total de acertos e *Td* no total de dados no conjunto.

Ao final desses processos foi realizada uma análise qualitativa das cicatrizes. Para tanto, foram utilizados os focos de calor coletados

pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os mesmos se baseiam em pontos que contém informações de focos, compostos por coordenadas geográficas (latitude e longitude), data da observação do foco de calor (dia, mês e ano), tipo de satélite e município.

Os dados neste estudo são oriundos de sensores a bordo dos satélites de referência utilizados pelo INPE, de modo que os mesmos foram plotados nos mapas de cicatrizes a fim de validar se, de fato, as cicatrizes identificadas pelos índices indicam áreas onde houve focos de calor.

Dessa forma, de acordo com Santos *et al.*, (2016), os dados diários de focos identificados são usados para constituir a série temporal ao longo dos anos de modo a permitir a análise de tendências nos números de pontos de calor para os mesmos locais nos períodos estudados.

Assim, tanto para o ano de 2008 quanto para o ano de 2015 foram empregados os dados do satélite *NOAA*, disponíveis no Banco de Dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), adquiridos por meio do endereço eletrônico <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>.

Em seguida foi efetuado o pós-processamento, o qual consistiu na elaboração dos modelos de cicatrizes, baseados nas imagens índice.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista que foram utilizados dois índices diferentes na identificação dos episódios, foram elaborados dois modelos de cicatrizes para cada cena.

Neste sentido, os modelos de 2008, são respectivamente apresentados nas figuras 2a e 2b, de modo que é possível observar as marcas deixadas na vegetação após os incêndios.

As cicatrizes encontradas na imagem *NDVI* (Figura 2a), são evidenciadas com valores negativos do índice, próximos a -1, ou seja, locais com vegetação fotossinteticamente inativas, por outro lado observa-se também áreas com valores positivos próximos a 1, indicando vegetação fotossinteticamente ativa.

Na imagem índice resultante do *NBR* (Figura 2b) fica evidente ainda uma terceira cicatriz na porção norte do Parque.

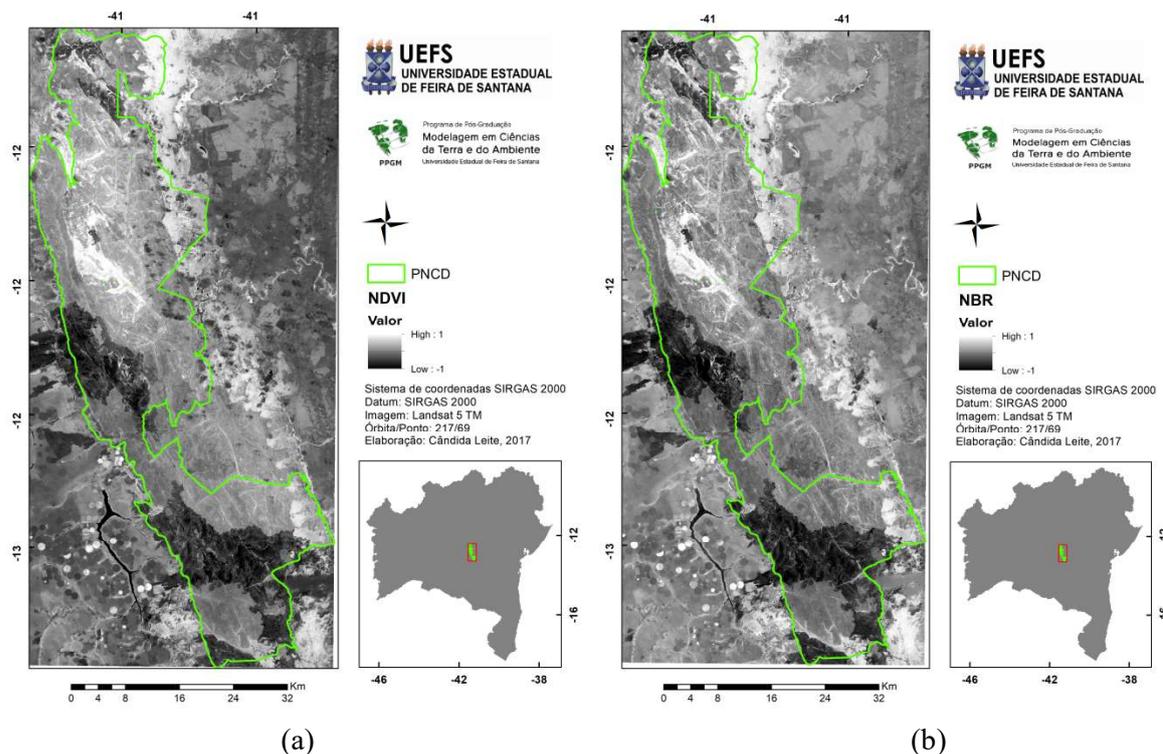


Fig. 2 - Imagens índice do incêndio de 2008, por meio dos índices a) NDVI e b) NBR.

É possível perceber, em ambos os modelos de cicatrizes de 2008, extensas áreas com valores negativos dos índices espectrais, o que para o *NBR* equivale a 36975 hectares e para o *NDVI*, cerca de 35304 ha (vide Tabela 3), deixando visível grande perda de biomassa vegetal no interior do PNCD.

Observa-se ainda que ambos os índices foram capazes de distinguir as vegetações saudas das queimadas, no entanto, o índice *NBR* consegue destacar melhor estas marcas, exemplo disso é a extensão queimada ao Norte do Parque que pouco fica evidente com o índice *NDVI*, enquanto na imagem índice *NBR* é possível vê-la sem dificuldade.

Neste sentido, para descrever com maior clareza a quantidade de áreas afetadas pelo episódio ocorrido em 2008 no PNCD, os histogramas dos índices *NDVI* e *NBR*, representados nas figuras 3a e 3b, apresentam a relação entre a quantidade de pixels correspondentes às áreas queimadas e não queimadas.

Os histogramas diferenciam a quantidade de pixels referentes às áreas queimadas e não queimadas, baseado nos valores dos índices. Deste modo, a parte colorida evidencia os pixels com valores negativos no eixo das abcissas, os quais indicam áreas queimadas, enquanto o eixo das ordenadas indica o número de pixels.

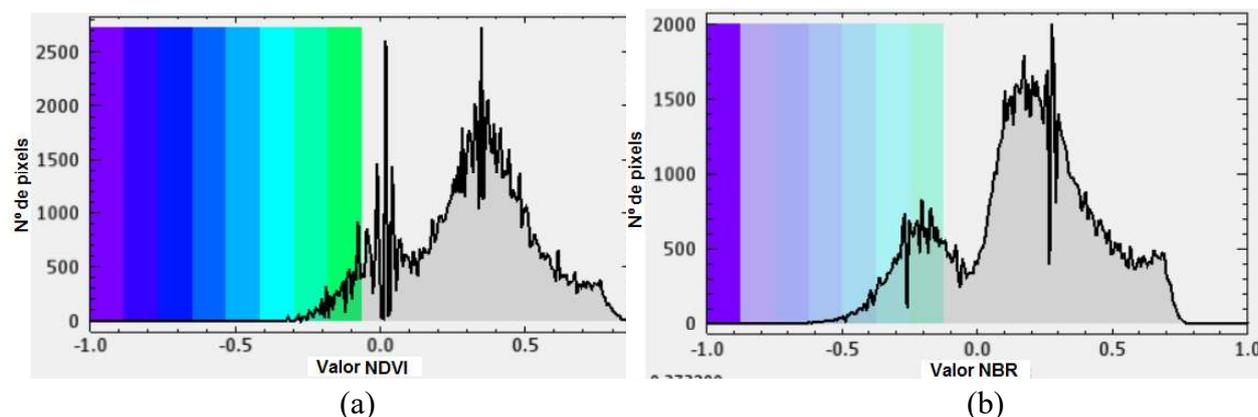


Fig. 3 - Histogramas referentes ao número de pixels correspondentes às áreas queimadas e não queimadas em 2008, pelo índice a) *NDVI* e b) *NBR*.

Para o ano de 2015 foram elaborados quatro modelos de cicatrizes, dois para o início de dezembro (figuras 4a e 4b) e dois para o final do mesmo mês (figuras 5a e 5b), de forma que fosse possível inclusive observar a expansão da área queimada, visto que, ao contrário da cena de 2008,

não havia cena com qualidade para processamento que mostrasse todas as cicatrizes de 2015, sem a interferência de nuvens.

Sendo assim, as figuras 4a e 4b mostram as cicatrizes existentes em 14 de dezembro de 2015.

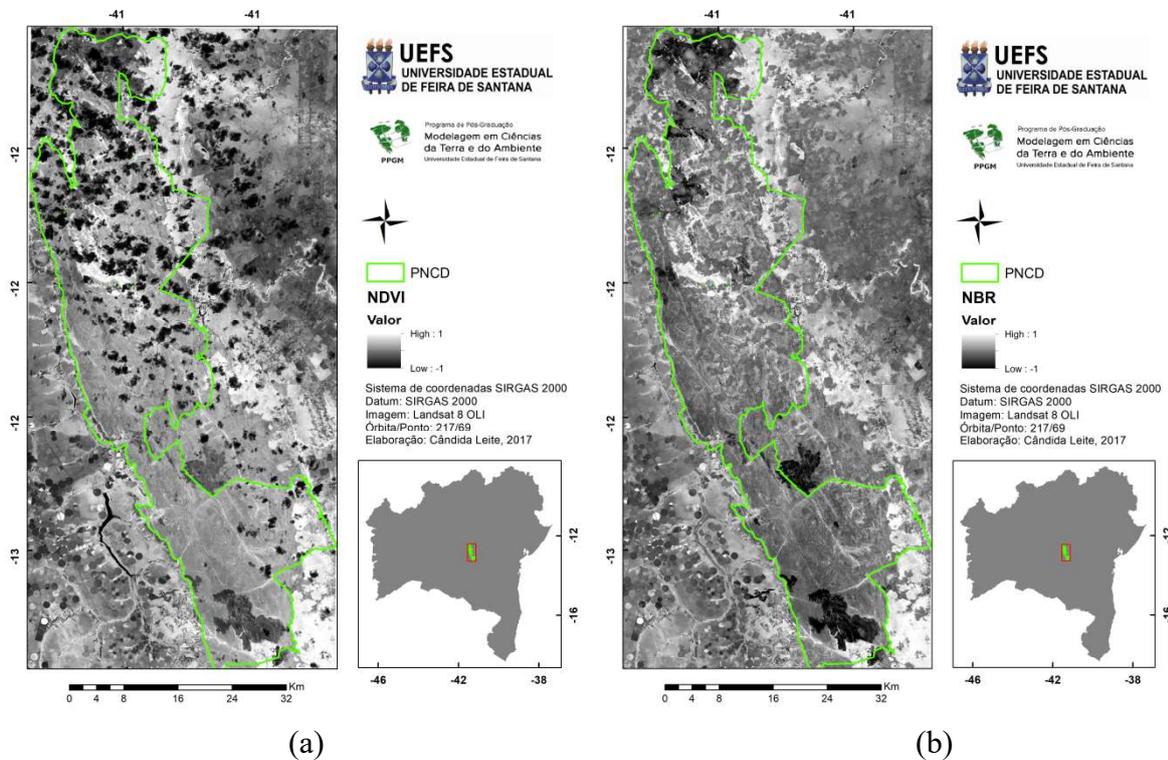


Fig. 4 - Imagens índice do incêndio em 14 de dezembro de 2015, por meio dos índices a) *NDVI* e b) *NBR*.

No entanto, na Figura 4a observa-se grande quantidade de nuvens na cena, o que dificulta a identificação de possíveis cicatrizes na porção norte da área de estudo, pelo índice *NDVI*.

Apesar de as figuras 4a e 4b serem produto de uma mesma cena, a figura 4b traz ocorrências de áreas queimadas que não foram detectadas na Figura 4a. Isso se dá pelo fato de o índice *NDVI* caracterizar as nuvens com valores negativos do índice, ocorrendo confusão com as áreas acometidas por queimadas, enquanto o *NBR* as classifica com valores próximos a 0 (zero), mesmo valor utilizado pelo índice para caracterizar áreas de solo exposto.

Da mesma forma, a cena de 30 de dezembro de 2015 (figuras 5a e 5b), também apresentava grande quantidade de nuvens, o que dificultou a visualização das áreas queimadas nas porções central e norte do Parque, mas por outro lado, na porção sul fica evidente o aumento da cicatriz.

A Figura 5a representa o mapa de cicatrizes

deste mês com base no índice *NDVI*.

Observa-se aqui, mais uma vez, que enquanto o índice *NDVI* classifica nuvens e sombra de nuvens com valores negativos, confundindo-as com áreas de vegetação fotossinteticamente inativa, o *NBR* consegue fazer a discriminação dos alvos e destacar as marcas deixadas pelos incêndios na vegetação, demarcando uma área de 9260 ha de vegetação queimada, como mostra a Tabela 3, em uma região denominada Gerais do Machobongo.

Sendo assim, na Figura 5b o *NBR* diferencia bem a vegetação queimada ao classificar as nuvens com valores próximos a 0 (zero) e identificar uma grande cicatriz com valores fortemente negativos do índice, em torno de -1.

As Figuras 6a e 6b, assim como as figuras 3a e 3b, evidenciam a relação de quantidade entre pixels referentes a áreas queimadas e não queimadas, desta vez com resultados dos índices *NBR* para as imagens índice de 14 e 30 de dez, respectivamente.

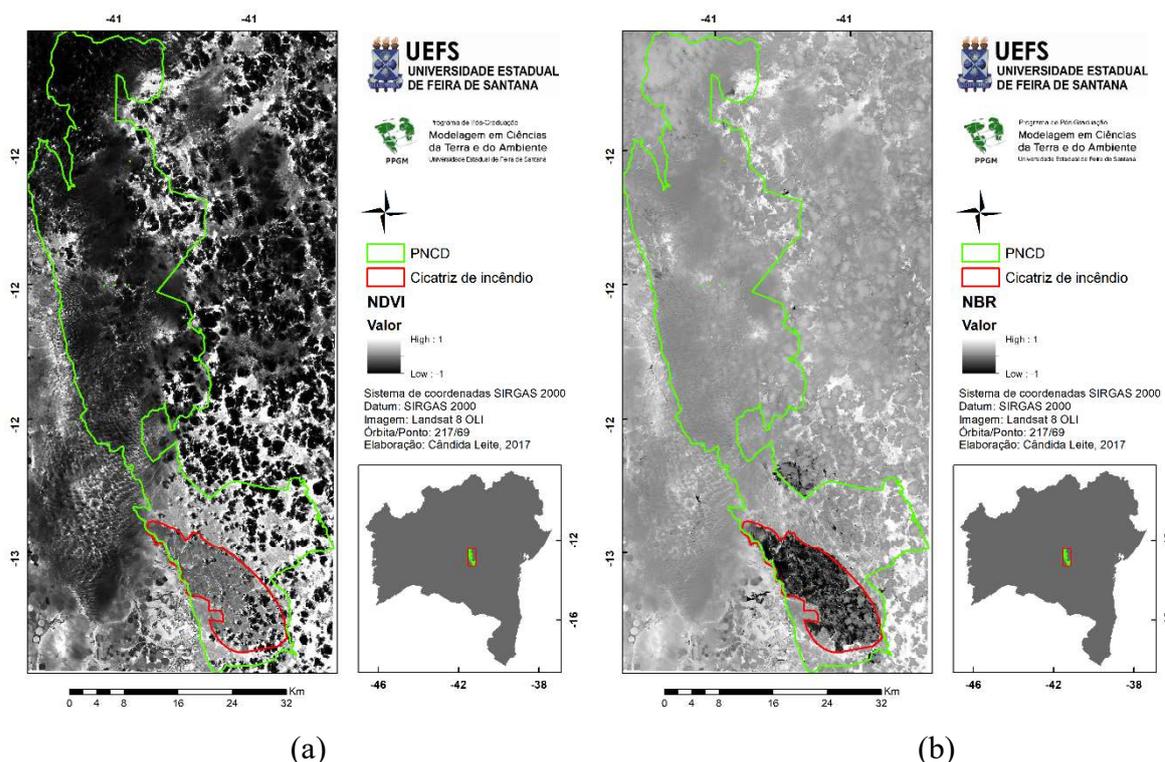


Fig. 5 - Mapa de cicatrizes de incêndio em 30 de dezembro de 2015, por meio dos índices a) *NDVI* e b) *NBR*.

Nesta fase do estudo não foram gerados os histogramas resultantes das imagens índice de *NDVI* em razão da grande confusão entre nuvens e áreas queimadas, feita pelo índice.

Ao longo deste estudo foi possível observar o quanto as nuvens podem interferir na análise e identificação de queimadas, dessa forma, com o fatiamento das imagens índices e a eliminação destas, foi possível distinguir com maior clareza as cicatrizes identificadas por cada índice e, conseqüentemente, quantificar as confusões ocorridas pelos índices.

Logo, as tabelas 1 e 2 apresentam a matriz de confusão entre as classes área queimada e área não queimada de acordo cada índice.

Tabela 1: Matriz de confusão da imagem índice *NDVI*

Referência	Pontos de teste		
	Área queimada	Área não queimada	Total
Área queimada	90	13	103
Área não queimada	260	237	497
Total	350	250	600
Acurácia	0,545		

Tabela 2: Matriz de confusão da imagem índice *NBR*

Referência	Pontos de teste		
	Área queimada	Área não queimada	Total
Área queimada	298	1	299
Área não queimada	2	299	301
Total	300	300	600
Acurácia	0,995		

Ao analisar as tabelas 1 e 2 observa-se as confusões encontradas em cada índice e como resultado disso, verifica-se a eficácia do *NBR* sobre o *NDVI*, demonstrando como o primeiro consegue distinguir bem as marcas deixadas na vegetação por episódios de incêndios.

Como foram observadas as imagens capturadas após os incêndios no ano de 2015 continham grande quantidade de nuvens, o que para o índice espectral *NDVI* traduziu-se em um problema, pois o mesmo classificou áreas queimadas e nuvens com valores de índice similares, por conta disso, para o ano de 2015 serão apresentados apenas os histogramas referentes ao índice *NBR*, conforme são apresentados na figura 6a e b.

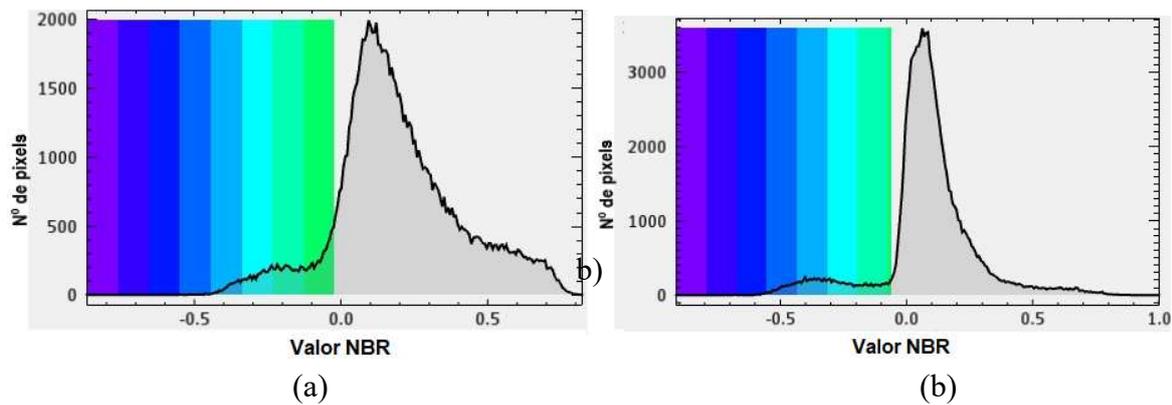


Fig. 6 - Histogramas referentes ao número de pixels correspondentes às áreas queimadas e não queimadas pelo índice *NBR* em a) 14 de dez. e b) 30 de dez. de 2015.

Ao analisar os histogramas é possível observar a quantidade de pixels referentes às áreas queimadas e, além disso, pode-se inferir a influência das nuvens nestas cenas, uma vez que, os picos encontrados nas figuras 6a e b são referentes a pixels com presença de nuvem.

Esta interferência é identificada também na quantificação das áreas acometidas pelos incêndios no recorte temporal estudado, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Áreas estimadas a partir do fatiamento das imagens índices de *NDVI* e *NBR*

	2008	14/12/15	30/12/15
Área (ha) <i>NBR</i>	36975	18375	9260
Área (ha) <i>NDVI</i>	35304	37700	42819

A Tabela 3 apresenta quantificação das áreas afetadas pelo fogo nos períodos estudados. Nesta é possível observar uma grande discrepância nos valores de áreas queimadas identificadas pelos índices em 2015, enquanto em 2008 os valores são semelhantes.

A diferença é dada pela confusão causada pelas nuvens e sombras de nuvens, uma vez que, mesmo com o fatiamento, não foi possível separar completamente as classes.

Dessa forma, a partir da Tabela 3 é possível destacar 2008 como o ano que obteve a maior extensão do Parque queimada.

Assim como apresentada na Tabela 3 e nos histogramas a extensão afetada pelo fogo em 2015 foi significativamente menor do que a de 2008, no entanto, ainda consideravelmente grande em se tratando de uma Unidade de

Conservação.

É válido ressaltar também que ao analisar e comparar os modelos de cicatrizes de 2008 e 2015 é possível perceber que algumas áreas acometidas pelo incêndio de 2015 foram queimadas em também em 2008, mostrando a recorrência do fogo nesses determinados locais.

A fim de se fazer uma análise qualitativa das cicatrizes identificadas a partir dos índices, as figuras 7a e 7b representam os mapas de focos de calor respectivamente de 2008 e 2015 da área de estudo, a partir de dados do satélite *NOAA*.

De acordo com os dados do INPE naquele ano ocorreram 243 focos de incêndios, de modo que só no mês de novembro foram detectados 189 deles.

O mapa de focos de calor de 2015 para além de validar as cicatrizes apresentadas a partir dos índices testados neste estudo, também se torna importante na observação de áreas afetadas pelo fogo neste ano, as quais não foram possíveis perceber na cena de 30 de dezembro devido à excessiva quantidade de nuvens existentes no local.

Constata-se também que em alguns locais, como a cicatriz na porção norte do Parque, não apresentaram focos de calor e por outro lado, áreas onde não foram identificadas cicatrizes apresentaram os focos. É possível que isso se dê ao fato respectivamente ao rápido espalhamento do fogo e o combate do mesmo, impedindo sua propagação.

Nessa perspectiva, Santos *et al.* (2016), em um estudo avaliando os incêndios ocorridos entre 2005 e 2015 no PNCD, demonstram que os focos de calor daquela região tendem a aumentar consideravelmente entre os meses de Setembro e Dezembro.

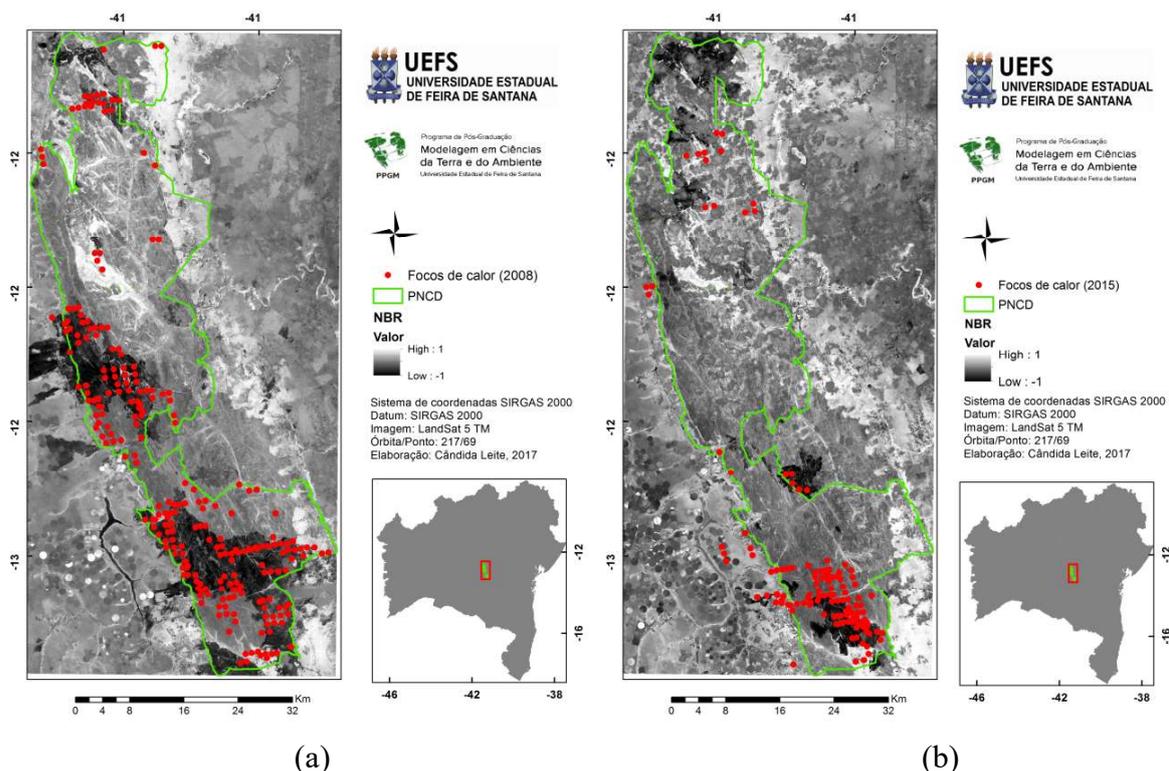


Fig. 7 - Mapa dos focos de calor ocorridos em a) 2008 e em b) 2015, pelo satélite NOAA.

Nesse sentido, é possível abordar uma discussão acerca do fator climatológico, visto que as ocorrências apresentam de certo modo um padrão sazonal. Sendo assim, os autores supracitados afirmam que a redução da umidade atrelada ao aumento da temperatura, decorrentes da primavera, tornam o material combustível altamente inflamável. Os autores ainda abordam a relação entre os baixos níveis de precipitação entre os meses maio e setembro, bem como o aumento da temperatura entre julho e outubro, contribui para gerar condições propícias a episódios de incêndios.

Os índices utilizados no presente estudo têm sido amplamente utilizados em inúmeros estudos. Apesar do índice espectral *NDVI* não ter como objetivo a identificação de áreas queimadas, o mesmo pode ser utilizado para tal, pois a maior parte da radiação proveniente da vegetação e captada pelo sensor é emitida pelos pigmentos fotossintetizantes das folhas, de modo que quando se trata de uma área queimada a vegetação responderá de forma negativa a este índice (RAMOS *et al.*, 2010).

Por outro lado, Leite *et al.* (2017) observa a relação entre os valores positivos do índice *NDVI* com a existência de vegetações densas e saudáveis, constatando ainda, que locais com

solo exposto, o mesmo classifica com valores próximos a 0 (zero).

Ao utilizar o índice espectral *NBR* é observado que o mesmo identifica as áreas queimadas com valores negativos. Key e Benson (2006) afirmam que isso se dá porque ao ocorrer a remoção da vegetação aliada a deposição de carvão há uma redução da reflectância do infravermelho próximo e em contrapartida um aumento da reflectância do infravermelho de ondas curtas.

Neste sentido, ao comparar a eficácia dos índices utilizados neste trabalho, Trindade, Trindade e Santana (2013) water resources, soil and air quality, and offer hazard to property and bodily integrity of rural populations. Thus, preventing and fighting fires are essential to minimize such losses. In this context, the use of remote sensing data is essential to provide data for temporal and spatial resolutions required for monitoring and analysis of burned areas. The objective of this study is to evaluate the use of satellite images for the quantification and identification of burned areas aiming to calculate the extent of damage, by means of multispectral indexes, *NDVI* (Normalized Difference Vegetation index avaliaram o *NBR* como melhor classificador para este tipo de

estudo, visto que o mesmo apresentou maior contraste entre as áreas queimadas e não queimadas.

Sob outra perspectiva Deprá *et al.* (2012) considera o *NDVI* mais eficaz quando comparado ao *NBR*, em seu trabalho este último apresentou pouca variação, o que os autores consideraram que trouxe dificuldades na interpretação dos dados, enquanto o *NDVI* apresentou utilidade tanto para identificar áreas recentemente afetadas como antigas.

Pereira *et al.* (2015) ao comparar nove índices espectrais para separar as queimadas de diferentes alvos afirma que o *NBR* apresentou melhor capacidade diferenciar essas classes, os autores ainda apontaram esse índice como um dos mais indicados no trabalho de mapeamento de queimadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado todo o conteúdo exposto na presente pesquisa é possível inferir que a metodologia abordada foi satisfatória e garantiu a conclusão do que se propôs. Deste modo, foi possível identificar as áreas afetadas por incêndios ocorridos nos anos de 2008 e 2015 no Parque Nacional da Chapada Diamantina.

A partir da utilização dos índices adotados para este estudo foi possível destacar a eficácia do índice *NBR* ao classificar as áreas queimadas sem confundi-las com outras classes na imagem, bem como ao contrastar as cicatrizes e as áreas que não foram afetadas, melhor do que o índice *NDVI*.

Além disso, o índice *NDVI* apresentou problemas quando utilizado em cenas com grande quantidade de nuvens, causando confusão entre as classes e ao mesmo tempo impossibilitando o cálculo da extensão das cicatrizes.

Por outro lado, com as matrizes de confusão foi possível observar matematicamente as confusões ocorridas com o índice *NDVI*, atestando a eficácia do *NBR* sobre este.

No entanto, apesar das confusões ocorridas, ambos os índices foram capazes de identificar as marcas de vegetação queimada, de maneira a ter a veracidade testada e validada pelos mapas de focos de calor.

Por fim, o *NBR* se mostra altamente indicado para o estudo e mapeamento de vegetação queimada. O *NDVI* também pode ser

indicado para tal, caso as cenas não apresentem ocorrência de nuvens.

Dessa forma, para trabalhos futuros recomenda-se a utilização de métodos que possam remover as nuvens a fim de se obter uma melhor resposta do índice *NDVI*.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia por financiar o estudo que desencadeou neste trabalho. Ao projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do solo no Brasil (MapBiomias), o qual esta pesquisa está vinculada, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Terra e do Ambiente por disponibilizar laboratórios que foram imprescindíveis no desenvolvimento desta pesquisa e ao Instituto Chico Mendes por toda colaboração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, J. L.; SORBEL, B. Assessing the differenced Normalized Burn Ratio's ability to map burn severity in the boreal forest and tundra ecosystems of Alaska's national parks. **International Journal of Wildland Fire**. 17, 2008, p. 463-475.

ANDERSON, L. O.; CHEEK, D.; ARAGÃO L. E.; ANDERE, L., DUARTE, B. Development of a Point-based Method for Map Validation and Confidence Interval Estimation: A Case Study of Burned Areas in Amazonia. **Journal of Remote Sensing & GIS** 6(193), 2017, p. 1-9. DOI: 10.4172/2469- 4134.1000193

BOLFE, E. L. Geotecnologias aplicadas à gestão de Recursos Minerais. In: III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracajú, 2006 **Anais**. 13p.

BORGES, V. C.; LOBÃO, J. S. B. Mapeamento do uso da terra na comunidade tradicional do Vale do Pati/ Parque Nacional Da Chapada Diamantina – Ba. In: VI Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales. São Paulo, 2014. **Anais**. p. 5072–5089.

DEPRÁ, B.; KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; BARBIERI, D. A. Identificação de queimadas nos Campos de Cima da Serra, RS, através dos índices *NDVI* e *NBR*. In: III Simpósio Brasileiro de Geomática. 2012. Presidente Prudente. **Anais**.

p. 199-202.

ENVI. Disponível em <www.envi.com.br/index.php/modulos/acm> Acesso em: 08 de Junho de 2017.

FIEDLER, C. N.; AZEVEDO, I. N. C.; REZENDE, A. V.; MEDEIROS, M. B.; VENTUROILI, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**, v. 28, 2004, p. 129-138.

FLANINGAN, M. D. **Forest fire monitoring using the NOAA satellite series**. Thesis (Master of Science). Colorado State University, Fort Collins, 1985, 59 p.

FRANCA-ROCHA, W. J. S.; SANTOS, S. M. B.; GONCALVES, A. J. B.; FERREIRA-LEITE, F. Are There Mega Fires in Brazilian Savannas? The National Park of Chapada Diamantina Case (Bahia, Brazil) In: António José Bento Gonçalves; António Avelino Batista Vieira; Maria Rosário Melo Costa; José Tadeu Marques Aranha. (Org.). **Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century**. 1ed. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, Inc. v. 1, 2017, p. 29-54.

FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 152p.

GARCÍA, M. J. L.; CASELLES, V. Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. **Geocarto International**, 6(1), 1991, p. 31–37.

GONÇALVES, N. G.; MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R. G.; COSLOPE, L. A.; LINTOMEN, B. S. Recorrência dos Incêndios e Fitossociologia da Vegetação em Áreas com Diferentes Regimes de Queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina. **Biodiversidade Brasileira**. I(2), 2011, p. 161-179.

GURGEL, H. da C. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. UFCG, 7(1), 2003, p. 85-90.

IBAMA. Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. **Relatório de combate ampliado**. IBAMA – PREVFOGO: Brasília, 2008, 11p.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. **Landscape assessment: Sampling and analysis methods USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-164-CD**. 2006. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/postfirevegcondition/documents/publications/FIREMON_LandscapeAssessment.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

LEITE, C. C. S. S.; SANTOS, S. M. B.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Utilização dos índices espectrais NBR e NDVI na caracterização de incêndios no PARNA Chapada Diamantina (Bahia): Estudo de caso dos Gerais do Machobongo. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos: INPE, 2017. **Anais**. p. 2131- 2137.

LIMA, R. N. DE S.; RIBEIRO, C. B. DE M. Comparação de métodos de correção topográfica em imagens Landsat sob diferentes condições de iluminação. **Revista Brasileira de Cartografia**. 66(5), 2014, p. 1097-116.

LOMBARDI, R. **Estimativa de áreas queimadas com produtos MODIS como subsídio à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e Cerrado brasileiros**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) São José dos Campos: Inpe/Sere, 2009, 187p.

MALINGREAU, J. P. **Remote sensing and forest fire monitoring in Indonesia**. Report on a consultancy, 1984, 24 p.

MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R. G.; GONÇALVES, C. N.; BERLINCK, C. N. E LINTOMEN, B. S. Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat. **Revista Biodiversidade Brasileira**, 2, 2011, p. 228-246.

MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R. G.; GONÇALVES, C. N.; BERLINCK, C. N. E LINTOMEN, B. S. Histórico dos incêndios

na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat. **Revista Biodiversidade Brasileira**, 2, 2011, p. 228-246.

Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo para o Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Brasília, 2007, 506p.

Ministério do Meio Ambiente. **Relatório Parametrizado - Unidade de Conservação**. 2012. Disponível em: <<http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=137>>. Acesso em: 9 de Maio de 2017.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: CNPq, 2012. 266p. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 13 de Maio de 2017.

MEDEIROS, M. B. FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: Desafios para a conservação da Biodiversidade. **Revista Ciência Florestal**, 14(2), 2003, p. 157-168.

MIRANDA, H. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. Comportamento do Fogo em Queimadas de Campo Sujo. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. de S. (Org.) **Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga**. Brasília: UnB, ECL, 1996. p. 1 - 10.

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 Botânica Brasílica**, 24 (3), 2010, p. 697-707.

PAREYN, F. G. C. Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga. Associação Plantas do Nordeste, Instituto de Conservação Ambiental. **The Nature Conservancy do Brasil**, Recife, 2002, 76 p.

PEREIRA, M. C. **Detecção, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos Satélites NOAA e LANDSAT, e dados de aeronave**. Dissertação (Mestrado), Inpe/DSR, São José dos Campos, 1987, 270p.

PEREIRA, A. A.; CARVALHO, L. M. T. DE; LIBONATI, R.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MORELLI, F. Avaliação de nove índices espectrais quanto a separabilidade entre queimadas e outros alvos. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa, 2015. **Anais**. p. 3105- 3112.

RAZAFIMPANILO, H.; FROUIN, R.; IACOBELLIS, S. F.; SOMERVILLE, R. C. J. Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. **Remote Sensing of Environment**, 54, 1995, p. 273-289.

RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; MELO JÚNIOR, J. C. F. DE; CANDEIAS, A. L. B.; SIQUEIRA FILHO, J. H. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para Unidades de Conservação. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia de Geoinformação. Recife, 2010, **Anais**. p. 001-006.

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, v.1, Sec. A, Washington, 1973. **Anais**. p. 309-317.

OLIVEIRA, S. F. **Ocorrências de Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada Diamantina, BA, no período de 2010 a 2014**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015, 60p. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HqrjxtgmxxvMJ:www.repositoriodigital.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/1008/1/tcc_pncd_2015_ofical%2520revisado%2520impress%25C3%25A3o.pdf+&cd=4&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br&lr=lang_en%7Clang_es%7Clang_pt>.

SANTOS, S. M.; FRANCA-ROCHA, W. DE J. S.; LEITE, C. S. DE S. Identificação de Queimadas no Parque Nacional da Chapada Diamantina e sua zona de amortecimento, através do índice espectral NBR. In: XVII Simpósio Internacional SELPER. Puerto Iguazu- AR, 2016, **Anais**. p. 1661-1672.

SANTOS, S. M. B.; FRANCA-ROCHA,

- W. J. S.; BENTO-GONÇALVES, A. J. Quantificação e análise dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina e sua zona de amortecimento. In: IX Seminário Latino-americano e V Seminário Íbero-americano de Geografia Física. **Anais... A geografia física e a gestão de territórios resilientes e sustentáveis**. Guimarães: Universidade do Minho. UMDGEO, 2016, p. 1355–1366.
- SILVA, D. M.; LOIOLA, P. de P.; ROSATTI, N. B.; SILVA, I. A.; CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. Os Efeitos dos Regimes de Fogo sobre a Vegetação de Cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: Considerações para a Conservação da Diversidade. **Biodiversidade Brasileira**, I(2), 2011, p. 26-39.
- SILVA, T. B.; ROCHA, W. DE J. S. DA F.; ANGELO, M. F. Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina - BA. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. INPE, 2013. **Anais**. p. 6969–6976.
- STRADMANN, M. P. S. **Plano de Manejo – Parque Municipal de Mucugê**. Mucugê. Projeto Sempre-Viva/ MMA/PNMA/PED 96CV00027/96, 1998, 423p.
- TATAGIBA, M. M. A. **Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Faculdade de Tecnologias, Brasília, 2010, 76p. Disponível em: <http://www.pgea.unb.br/~lasp/research/DEFESA_VALERIO_AYMORE_MARTINS_DM-500_2012.pdf> Acesso em: 30 de abril de 2017.
- TRINDADE, C. A.; TRINDADE, B. O.; SANTANA, C. R. Uso de imagens de satélite para identificação de áreas queimadas para uso em laudos periciais de incêndios florestais. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu: INPE, 2013. **Anais**. p. 2809–2816.
- VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste, Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, Recife, 2002, 76 p.