



Utilização do NDVI na análise da vegetação após ocorrência de incêndio

Fabício Assis LEAL¹, Cátia Menezes de SOUZA¹, Glória da Silva Almeida LEAL¹,
Eder Pereira MIGUEL²

¹Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, AC, Brasil.

²Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

*E-mail: fabricaoassisleall@gmail.com

Recebido em maio/2018; Aceito em agosto/2018.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a vegetação do Parque Nacional das Emas antes e após a ocorrência de fogo, por meio do NDVI. Para a obtenção do NDVI foram utilizadas imagens do satélite ResourceSat-1, em julho/2010 (antes) e setembro/2010 (após). Foram aleatorizados pontos amostrais nas classes mais representativas de vegetação do PARNA, sendo: 60 pontos na classe Campo, 45 pontos na classe Cerrado, 35 pontos na classe Várzea e 35 pontos na classe Mata. Os valores encontrados de NDVI nos pontos amostrados, antes e após a ocorrência do incêndio, foram comparados estatisticamente pelo teste de qui-quadrado (χ^2). Para quantificar a perda de biomassa após o incêndio, a imagem NDVI antes do incêndio foi subtraída da imagem NDVI após o incêndio, gerando assim uma imagem da diferença. Esta imagem foi classificada em cinco classes: baixa, moderada, média, alta e muito alta. Os resultados mostraram que houve diferença significativa nos valores de NDVI antes e após o incêndio, para todas as tipologias. Em relação a perda de biomassa, a classe Alta foi a mais representativa entre todas mapeadas, representando 41,1%, seguida pela classe Média (40,6%) e a classe mais extrema Muito Alta com 7,4%. O incêndio afetou, significativamente, as tipologias do parque.

Palavras-chave: savana, incêndios florestais, severidade de incêndio, unidade de conservação.

Application of NDVI in vegetation analysis after fire occurrence

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the vegetation of Emas' PARNA before and after the occurrence of fire, through NDVI. In order to obtain the NDVI, we used images from the ResourceSat-1 satellite, in July/2010 (before) and September/2010 (after). Sampling points in the most representative PARNA vegetation classes were randomized: 60 points in the Campo class, 45 points in the Cerrado class, 35 points in the Várzea class and 35 points in the Mata class. The NDVI values found in the sampled sites, before and after the occurrence of the fire, were compared statistically by the chi-square test (χ^2). To quantify biomass loss after fire, the NDVI image before the fire was subtracted from the NDVI image after the fire, thus generating an image of the difference. This image was classified into five classes: low, moderate, medium, high and very high. The results showed that there was a significant difference in the NDVI values before and after the fire, for all types. In relation to the loss of biomass, the Upper class was the most representative among all mapped, representing 41.1%, followed by the middle class (40.6%) and the most extreme class Very High with 7.4%.

Keywords: savannah, forest fires, fire severity, conservation unit.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, incêndios florestais têm destruído grandes extensões territoriais de cobertura vegetal, o clima seco durante o inverno favorece a ocorrência de incêndios em várias regiões, principalmente no Cerrado (PRUDENTE, 2016), com período de maior intensificação nos meses de julho, agosto e setembro (ARAÚJO et al., 2012).

O Cerrado convive com o fogo há muito tempo, sendo um fator ambiental antigo. O fogo é um agente importante para este bioma, pois muitas espécies dependem dele para reprodução e crescimento, entretanto várias pesquisas indicam que sua alta frequência está acima do limite de suporte dos ambientes naturais, podendo ocasionar danos ainda não mensuráveis a esses ecossistemas (PRUDENTE, 2016).

Os incêndios, geralmente de origem antropogênica, afetam a distribuição de ecossistemas globais, modificando a estrutura das comunidades de vegetação e interferindo nos mecanismos de reprodução e sobrevivência das espécies vivas (ARAÚJO et al., 2012).

O Cerrado, ambiente savânico no Brasil, é um bioma extenso e complexo e pode ser descrito como um mosaico de tipos vegetacionais, verticalmente estruturado por espécies herbáceas, arbustivas e arborescentes.

A vegetação é altamente suscetível a incêndios (SOUZA et al., 2008), sendo diversos os fatores envolvidos na ocorrência e propagação, tais como: a frequência de raios, altas temperaturas, duração do período seco e ventos intensos (ARAÚJO et al., 2012), além do clima que favorece os incêndios de causas antrópicas, devido ao maior acúmulo de biomassa seca no solo, podendo ter maior abrangência e intensidade (FRANÇA et al., 2007).

A dimensão alcançada pelos incêndios em áreas naturais, rurais e urbanas do Brasil no ano de 2010 explicitou à sociedade, mais uma vez, a situação dramática e quase cotidiana em grande parte do país, no que diz respeito ao fogo (RIBEIRO et al., 2011). Entre 2002 e 2010, aproximadamente 73% das áreas queimadas no território brasileiro ocorreram no Bioma Cerrado (ARAÚJO et al., 2012).

Neste contexto, no Parque Nacional (PARNA) das Emas a presença do fogo é um dos principais processos ecológicos que determinam os seus ecossistemas (FRANÇA et al., 2007). Neste PARNA ocorreram dois grandes incêndios, um em 2005, que queimou aproximadamente 50% da reserva, e outro em 2010, que queimou aproximadamente 98% (SILVA et al., 2011).

O PARNA das Emas é uma área prioritária para a realização de estudos por se encontrar ameaçada pela expansão desordenada das atividades agropecuárias em seu entorno (KOPP et al., 2010), como também pelos constantes incêndios florestais ocorridos. É um ambiente característico para a ocorrência de incêndios de superfície, onde predominam a queima com chamas da vegetação seca acumulada (ALMEIDA et al., 2008).

O uso de imagens de satélite para estudos de vegetação é uma prática muito utilizada no meio científico, pois permitem uma visão do todo, possibilitando a obtenção de informações que seriam inviáveis de serem adquiridas sem a utilização das mesmas (VELASCO et al., 2007). Dentre os diversos produtos obtidos por meio de imagens de satélites destacam os índices de vegetação.

O NDVI (do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*) é um índice de vegetação por diferença normalizada que permite identificar a presença de vegetação verde sadia e caracterizar sua distribuição espacial, como também a evolução no decorrer do tempo (LOBATO et al., 2010).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento da vegetação do Parque Nacional das Emas, antes e após a ocorrência de incêndio utilizando o NDVI, bem como mapear espacialmente e estratificar em classes a perda de biomassa após o maior incêndio já registrado no PARNA, ocorrido em 2010.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização da área de estudo

A área de estudo compreende o Parque Nacional das Emas, situado no bioma do Cerrado, localizado no extremo sudoeste do estado de Goiás próximo as divisas dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, entre os paralelos 17°51' e 18°21' de latitude sul e entre os meridianos 52°43' e 53°07' de longitude oeste (Figura 1).

O clima da região do PARNA é sazonal tropical (FRANÇA et al., 2007), e caracteriza-se por uma estação seca de junho a agosto e uma estação chuvosa de outubro a abril, a temperatura média anual varia entre 22 e 24°C e a precipitação anual varia de 1.500 a 1.700 mm, concentrada de outubro a março (KOPP et al., 2010).

2.2. Imagem de satélite, conversão radiométrica e composição de bandas

Foram utilizadas imagens do satélite ResourceSat-1, sensor LISS-III, de resolução espacial igual a 24 metros, sendo as bandas 2 (green), 3 (red), 4 (nir) e 5 (swir). As datas das imagens utilizadas para avaliação da vegetação foram: julho de 2010 (antes do fogo) e setembro de 2010 (após o fogo). A órbita e o ponto utilizados foram 324/90. O download foi realizado a partir do sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na divisão de geração de imagens (DGI). Vale ressaltar que o incêndio ocorreu por volta do dia 13 de agosto de 2010, conforme pode ser confirmado na imagem P6-LIS3 324/090 de 2010-08-13, 13h e 52m, satélite ResourceSat-1 (LISS-3).

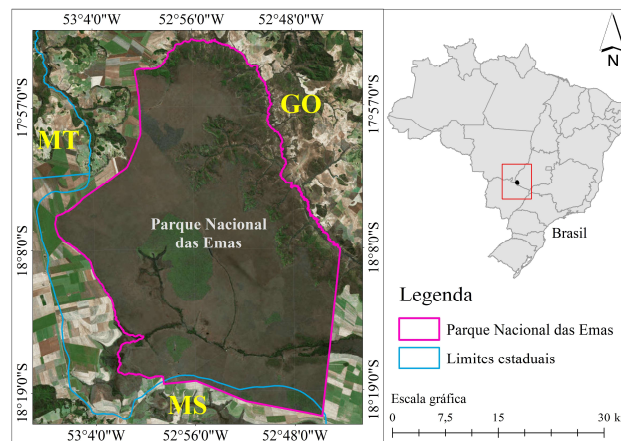


Figura 1. Localização da área de estudo envolvendo o Parque Nacional das Emas. Fonte: Arquivo vetorial ICMBio (julho, 2007). Esri® background image.

Figure 1. Location of the study area surrounding the Emas National Park. Source: ICMBio vector file (July, 2007). Esri® background image.

Após o download as imagens foram submetidas a conversão radiométrica, que envolveu a transformação dos valores de números digitais (ND) para valores físicos de radiância espectral em cada banda. Posteriormente, os valores físicos de radiância espectral foram convertidos para reflectância exoatmosférica no topo da atmosfera (*TOA/top of atmosphere*), também denominada reflectância aparente. Para primeira etapa foi utilizada a Equação 1 e para a segunda etapa foi utilizada a Equação 2, conforme proposto por Chandler et al. (2009; 2008).

$$L\lambda = Lmin\lambda + \left(\frac{(Lmax\lambda - Lmin\lambda) * Qcal}{Qcalmax} \right) \quad \text{Equação 1}$$

em que: $L\lambda$ = radiância bidirecional aparente [$W/(m^2 sr \mu m)$]; $Lmin\lambda$ = radiância espectral mínima no sensor [$W/(m^2 sr \mu m)$]; $Lmax\lambda$ = radiância espectral máxima no sensor [$W/(m^2 sr \mu m)$]; $Qcal$ = nível digital (ND) a ser convertido na imagem original; $Qcalmax$ = número digital máximo (dependente da resolução radiométrica do sensor).

$$\rho a = \frac{\pi * L\lambda * d^2}{ESUN\lambda * \cos\theta} \quad \text{Equação 2}$$

em que: ρa = Fator de reflectância bidirecional (FRB) aparente ou reflectância planetária no topo da atmosfera, adimensional; π = Constante matemática igual a 3,14159; $L\lambda$ = Radiância espectral que chega ao sensor [$W/(m^2 sr \mu m)$]; d = Distância de Terra-Sol em unidades astronômicas; $ESUN\lambda$ = Irradiância solar exoatmosférica média [$W/(m^2 \mu m)$]; θ = Ângulo zenital solar, em graus.

As informações contidas na Tabela 1, bem como no metadados das imagens foram utilizados para realizar a conversão radiométrica.

Foi utilizado o ArcGis na opção *raster calculator* para tal procedimento. Posteriormente as bandas foram empilhadas utilizando a composição de bandas espectrais. A composição de bandas foi útil para a identificação e interpretação visual das áreas queimadas (Figura 2).

2.3. Obtenção das imagens índice de vegetação (NDVI)

Após conversão radiométrica e a composição de bandas, realizadas no tópico anterior, foram geradas as imagens índices de vegetação NDVI (Equação 3), conforme proposto por Rouse et al. (1974), por meio do *raster calculator*. Ao final deste processo obteve-se duas imagens NDVI, uma para julho

de 2010 (antes do incêndio) e outra para setembro de 2010 (após o incêndio).

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red) \text{ (Equação 3)}$$

em que: NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada; NIR = reflectância no topo da atmosfera na banda do infravermelho próximo; Red = reflectância no topo da atmosfera na banda do vermelho.

Tabela 1. Parâmetros de calibração radiométrica do sensor LISS-III/ResouceSat-1 com os intervalos espectrais, radiância mínima (Lminλ) e máxima (Lmaxλ) e irradiância solar exoatmosférica média (ESUNλ).

Table 1. Radiometric calibration parameters of the LISS-III/ResouceSat-1 sensor with spectral periods, minimum and maximum radiation (Lmaxλ) and medium exo-atmospheric solar irradiance (ESUNλ).

Banda	Intervalo espectral	Lminλ	Lmaxλ	ESUNλ
	μm	W/m ² sr	W/m ² sr	W/m ²
2	0,52 a 0,59	0	120,64	1846,77
3	0,62 a 0,68	0	151,31	1575,50
4	0,77 a 0,86	0	157,57	1087,34
5	1,55 a 1,70	0	69,03	236,65

Fonte: Chander et al. (2008) e Berra (2013).

2.4. Avaliação da vegetação utilizando NDVI

Para avaliar o comportamento da vegetação antes e após o incêndio, nas duas datas referidas (julho/2010 e setembro/2010), foram gerados pontos aleatórios proporcionalmente à área nas principais classes fitofisionômicas do PARNA. As classes fitofisionômicas foram: Campo, Cerrado, Mata e Várzea, respectivamente com 60, 45, 35 e 35 pontos em cada. Essas classes foram advindas do arquivo vetorial com os principais tipos de vegetação do parque, disponibilizado pela Oréades Núcleo de Geoprocessamento (oreades.org.br). Assim sendo, para cada classe foram obtidos os valores de NDVI nas imagens de antes e após a ocorrência do fogo. Para verificar se houve ou não diferença entre os índices de vegetação, antes e após o incêndio, o conjunto de pontos de cada classe fitofisionômica foi comparado entre si utilizando o teste estatístico qui-quadrado (χ²), ao nível de 5% de significância (CECON et al., 2012).

2.5. Mapeamento da perda de biomassa após o incêndio

Para o mapeamento da perda de biomassa após o incêndio ocorrido no PARNA foi necessário obter a variação do NDVI. Esta variação compreendeu em subtrair os valores dos pixels do NDVI antes do incêndio (julho/2010), com os valores dos pixels do NDVI obtidos após o incêndio (setembro/2010). Como resultado obteve-se um NDVI apenas com a diferença do que foi queimado (ΔNDVI) (Equação 4). Esta imagem resultante significou a perda de biomassa e foi considerada para realizar o mapeamento dos locais onde ocorreram tais perdas.

$$\Delta NDVI = NDVI_{\text{antes}} - NDVI_{\text{após}} \text{ (Equação 4)}$$

Após a obtenção da imagem ΔNDVI, os pixels foram classificados em cinco classes de perda de biomassa, sendo: baixa, moderada, média, alta, muito alta. Para esta classificação foi utilizado o método *Natural Breaks* (Jenks). Ao final desse processo foi elaborado um mapa com as informações espacializadas sobre a perda de biomassa após o incêndio, bem como uma Tabela que representou a quantidade

de área e a porcentagem (%) queimada, em cada classe de perda mapeada.

3. RESULTADOS

3.1. Conversão radiométrica e composição de bandas

Após a conversão radiométrica (TOA), sugerida por Chander et al. (2009), as bandas espectrais foram empilhadas formando as imagens nas datas de julho/2010 (A) e setembro/2010 (B), respectivamente, antes e após o incêndio (Figura 2).

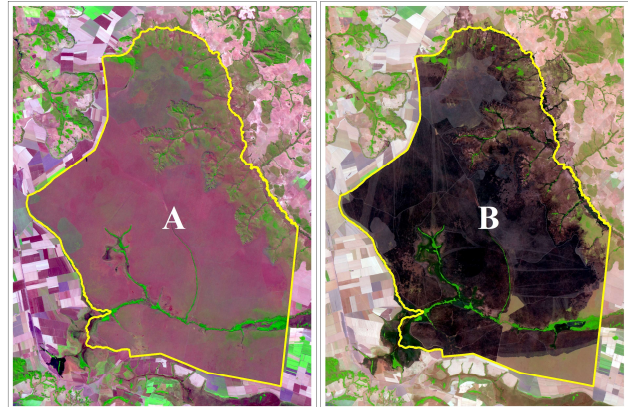


Figura 2. Imagens resultantes da conversão radiométrica após a composição de bandas nos canais R(5) G(4) B(3), envolvendo o PARNA das Emas antes (A) e após o incêndio (B).

Figure 2. Images resulting from the radiometric conversion after the composition of bands in the R(5) G(4) B(3) channels, involving the PARNA of the Emas before (A) and after the fire (B).

É notório verificar nas imagens (Figura 2) que o incêndio atingiu quase que totalmente a área do Parque (98%), atingindo assim, considerável parte da flora e, consequente, a fauna. Essas imagens ilustraram e deram ideia do que pode ter ocorrido nessa época, pois nota-se que o entorno da unidade de conservação há intensa antropização, principalmente devido às áreas agrícolas, o que pode ter facilitado e potencializado a entrada do fogo por estas áreas externas.

3.2. Imagens índice de vegetação (NDVI)

Após aplicar a Equação 3 utilizando as bandas 3 (red) e 4 (nir) das imagens da Figura 2 foram obtidas as imagens NDVI antes (A) e após (B) a ocorrência do incêndio no PARNA em 2010 (Figura 3).

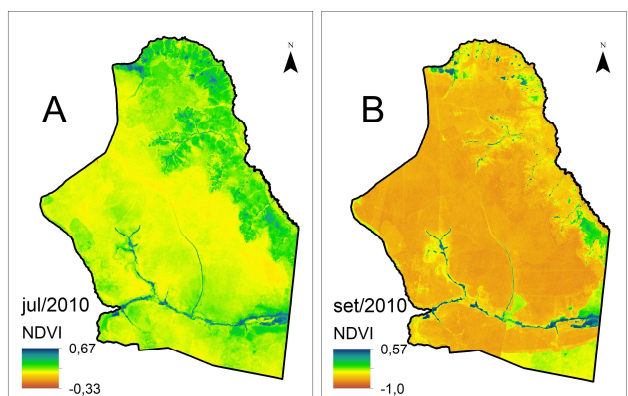


Figura 3. Imagem NDVI para o PARNA das Emas antes (A) e após (B) a ocorrência do fogo, em 2010.

Figure 3. NDVI image for the PARNA of the Emas before (A) and after (B) the occurrence of the fire, in 2010.

Foram notáveis as diferenças entre as respectivas imagens de antes (A) e após (B) a ocorrência do fogo (Figura 3). Os valores de NDVI, conforme esperado, foram maiores antes do fogo do que após o fogo, onde se verifica valores de NDVI mais baixo, conforme legenda. No quadro A os valores de NDVI variaram de 0,67 a -0,33, indicativos de maior quantidade de vegetação, já no quadro B, diferentemente, os valores oscilaram entre 0,57 a -1,0, evidenciando perda de biomassa, devido a alteração da amplitude da rampa de valores do NDVI.

3.3. Avaliação da vegetação utilizando NDVI

Na Figura 4 é possível verificar espacialmente onde os pontos foram aleatorizados, em cada classe fitofisionômica no PARNA. Conforme já mencionado seguem: classe Campo (A) com 60 pontos, Cerrado (B) com 45 pontos, Mata (C) com 35 pontos e Várzea (D) também com 35 pontos.

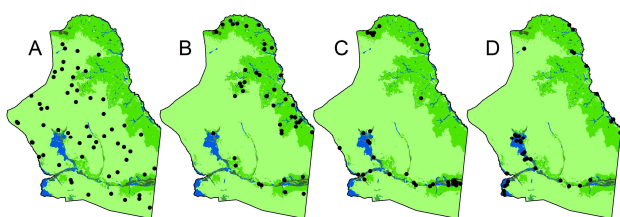


Figura 4. Distribuição espacial dos pontos que foram amostrados nas classes Campo (A), Cerrado (B), Mata (C) e Várzea (D), para a comparação dos valores de NDVI, antes e após a ocorrência do incêndio.

Figure 4. Spatial distribution of the points that were sampled in the Campo (A), Cerrado (B), Mata (C) and Várzea (D) classes for the comparison of NDVI values, before and after the occurrence of the fire.

Os resultados obtidos por meio do teste qui-quadrado (χ^2) mostraram que houve diferenças significativas, ao nível de 5% de significância, para os valores de NDVI antes e após a ocorrência do incêndio, em todas as classes fitofisionômicas avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2. Valor calculado do teste χ^2 para as classes Campo, Cerrado, Mata e Várzea, bem como o valor tabela do de referência para comparação.

Table 2. Calculated value of the χ^2 test for the Campo, Cerrado, Mata and Várzea classes, as well as the benchmark reference value for comparison.

Local	Pontos	<i>p</i> -valor	χ^2 calc.	χ^2 tab.
Campo	60	<0,0001	89,1	43,2
Cerrado	45	<0,0001	52,5	34,8
Mata	35	<0,0001	24,4	22,5
Várzea	35	<0,0001	39,7	22,5

O valor médio do NDVI dos pontos aleatórios distribuídos na classe Campo antes do fogo foi de 0,11 e após o fogo o valor médio de NDVI foi de -0,12. Tal fato evidencia que a ocorrência do fogo queimou parte significativa da biomassa desta classe de vegetação.

Já a classe Cerrado obteve média de NDVI de 0,23 antes do incêndio e de -0,03 após a ocorrência do fogo. As médias para os valores de NDVI encontradas na classe Mata foram de 0,48 antes e 0,36 após o fogo. Para a classe Várzea os valores de NDVI tiveram médias de 0,18 antes e de 0,00 após o incêndio.

3.4. Mapeamento da perda de biomassa após o incêndio

Após a obtenção e classificação da imagem Δ NDVI utilizando as classes de perda de biomassa (baixa, moderada, média, alta, muito alta) foi possível obter as informações espacializadas (Figura 5) e quantificadas (Tabela 3) após o incêndio.

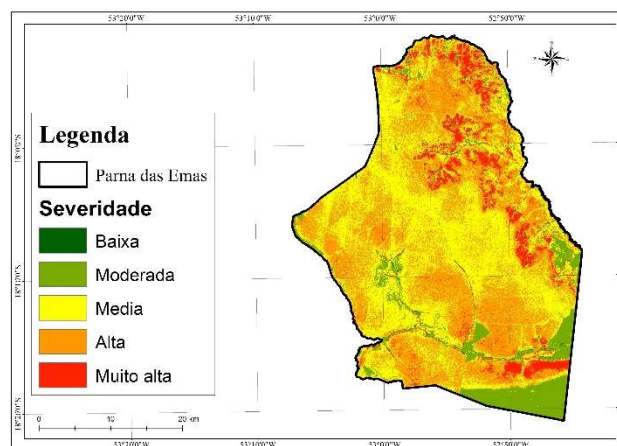


Figura 5. Mapeamento geoespacializado das classes de severidade do incêndio ocorrido no PARNA das Emas, em 2010.

Figure 5. Geospatial mapping of fire severity classes at the Emas PARNA in 2010.

De acordo com a Figura 5 é possível visualizar espacialmente as classes de perda de biomassa, onde nota-se que as classes foram distribuídas amplamente pela área do PARNA. As cores mais quentes significaram dizer onde ocorreram a maior diferença nos *pixels* de NDVI, significando onde houve maior perda de biomassa, quando comparado aos valores de NDVI antes do incêndio.

Tabela 3. Resumo quantitativo do mapeamento das classes de severidade do incêndio ocorrido no PARNA, em 2010.

Table 3. Quantitative summary of the fire severity classes mapping occurred in PARNA, in 2010.

Classes	Δ NDVI	Área (ha)	%
Baixa	-0,57 a 0,00	492	0,4
Moderada	0,00 a 0,14	13.958	10,5
Média	0,14 a 0,23	53.924	40,6
Alta	0,23 a 0,31	54.606	41,1
Muita Alta	0,31 a 1,00	9.777	7,4

Neste cenário, exemplificado na Tabela 3, os valores mais altos positivos de Δ NDVI significaram onde ocorreram maiores perdas de biomassa e, por outro lado, os valores mais baixos negativos de Δ NDVI indicaram onde ocorreram menos perdas de biomassa ou não houve alteração.

Com base nos dados da Tabela 3 é possível notar que a classe Alta foi a mais expressiva entre todas mapeadas, representado sozinha mais de 41% da área do PARNA. Se somarmos com a classe Muito Alta, as duas representaram quase 50% da área total do parque. Tal representatividade dessas duas classes revela o potencial de queima que foi o incêndio ocorrido em 2010 e que deixou consequências indesejáveis a flora e a fauna.

4. DISCUSSÃO

Os incêndios de causas antrópicas tendem a ocorrer durante a estação seca e devido ao maior acúmulo de biomassa

seca no solo podem ter maior extensão e intensidade. No PARNA das Emas, por exemplo, a dominância do capim-flecha (*Tristachya leiostrachya* Nees.) favorece principalmente para o acúmulo de biomassa ao longo dos anos, que funciona como combustível relevante nos incêndios ocorridos (FRANÇA et al., 2007).

Em relação ao período avaliado, no PARNA das Emas em 2010 houve o registro do maior incêndio já registrado nesta unidade de conservação, com aproximadamente 98% de sua área queimada (SILVA et al., 2011). Segundo dados de pluviosidade obtidos por meio da Agência Nacional das Águas para 2010 (Estação Formoso no município de Chapadão do Céu/GO), durante os meses de janeiro (458 mm), fevereiro (366 mm), março (246 mm) e dezembro (268 mm), o PARNA recebeu as maiores precipitações do ano, o que correspondeu a 1.338 mm (73,8%) de toda a precipitação. Já as menores marcas registradas ficaram para os meses de abril (80 mm) e maio (32 mm). Entretanto, nos meses de junho, julho, agosto e setembro não houve nenhuma precipitação pluviométrica, significando assim que o período de seca foi o principal fator para a ocorrência do maior incêndio no PARNA das Emas até os dias atuais, além da grande oferta de biomassa seca.

A utilização de técnicas de processamento de imagens de satélites em estudos da dinâmica da cobertura vegetal, por meio de índices de vegetação, permite a extração de informações de forma rápida e não onerosa. Oliveira et al. (2017), constataram que as técnicas e ferramentas geotecnológicas apresentaram-se como uma forma prática e viável para estimativa do tempo de recuperação da vegetação, uma vez que essa avaliação foi feita por meio da refletância (ρ) e não foi necessária a medição das árvores na região afetada.

De acordo com Silva (2014), devido à inexistência momentânea da vegetação, após a ocorrência de incêndio, o NDVI obterá resultado negativo ou próximo à zero. Pode-se notar na Figura 3 que os valores de NDVI, conforme esperado, diminuiram em função da quantidade de biomassa queimada. Vale ressaltar que a classe Campo foi a que mais acusou diferença entre os valores de NDVI, antes e após a ocorrência do fogo, pois apresentou o valor mais alto para o teste de qui-quadrado (Tabela 2). É importante destacar que esta classe é a que contempla o capim-flecha e, como já destacado por França et al. (2007), acumula muita biomassa seca o que facilita e potencializa sua queima por completo.

As classes Cerrado e Mata tiveram menos perdas de biomassa que a classe Campo. Embora as perdas tenham sido significativas estatisticamente, Moreira et al. (2010), destacam que a altura da vegetação aumenta a probabilidade de sobrevivência da copa no incêndio, pois as partes aéreas de plantas de baixa estatura estão mais expostas ao calor e são frequentemente mortas.

De fato, as fitofisionomias naturais do Bioma Cerrado são modificadas constantemente pelo fogo, seja ele de causa natural ou antrópica (MASCARENHAS et al., 2009). Deste modo, o fogo recorrentemente no PARNA modifica a estrutura filogenética das comunidades de plantas, de forma que tanto as plantas mudam as condições de solo, quanto o solo muda as condições para o estabelecimento das plantas (SILVA et al., 2011).

A intensidade do fogo contribui para a sua severidade (MOREIRA et al., 2010). A capacidade de resposta das plantas ao fogo varia em função da interação entre uma série de fatores como a severidade do fogo, as características do local e as

características de cada planta (espécie, vigor vegetativo, idade, método de regeneração, etc.) (CATRY et al., 2010).

5. CONCLUSÕES

O NDVI possibilitou, analisar a cobertura vegetal, antes e após a ocorrência do fogo, no que diz respeito a perda de biomassa.

Nossos resultados mostraram que o incêndio ocorrido em 2010 afetou, significativamente, as principais tipologias do PARNA, pois o comportamento da vegetação foi afetado conforme valores encontrados para o NDVI.

O mapeamento em classes de perda de biomassa após o incêndio foi importante no contexto de gestão, pois ofertou informações espaciais de onde ocorreram as maiores perdas de biomassa e que podem nortear futuras ações mitigadoras para a unidade de conservação em questão.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. M.; MACAU, E. E. N.; RAMOS, F. M.; FRANÇA, H.; CARNEIRO, T. G. S. Simulando padrões de incêndios no Parque Nacional das Emas, Estado de Goiás, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Geoinformática, X, **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Computação, 2008.
- ARAÚJO, F. M.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E. Distribution patterns of burned areas in the Brazilian biomes: an analysis based on satellite data for the 2002–2010 period. **Remote Sensing**, Basel, v. 4, n. 7, p. 1929–1946, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/rs4071929>
- BERRA, E. F. **Avaliação e comparação de imagens LISS-III/ResourceSat-1 e TM/Landsat 5 para estimar volume de madeira de um plantio de *Pinus elliottii***. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013, 127 p.
- CATRY, F. X.; SILVA, J. S.; FERNANDES, P. Efeitos do fogo na vegetação. In: MOREIRA, F.; CATRY, F. X.; SILVA, J. S.; REGO, F. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**. Lisboa: ISAPRESS, 2010. p. 49–86.
- CECON, P. R.; SILVA, A. R.; NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A. **Métodos estatísticos**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 229 p.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L.; Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 5, p. 893–903, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- CHANDER, G.; COAN, M. J.; SCARAMUZZA, P. L. Evaluation and Comparison of the IRS-P6 and the Landsat Sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 46, n. 1, p. 209–221, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2007.907426>
- FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. W. **O fogo no Parque Nacional das Emas**. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). MMA, Série Biodiversidade, v. 27, 2007. 140 p.
- KOPP, K.; SIGNORELLI, L.; BASTOS, R. P. Distribuição temporal e diversidade de modos reprodutivos de anfíbios anuros no Parque Nacional das Emas e entorno, estado de Goiás, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 100, n. 3, p. 192–200, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0073-47212010000300002>
- LOBATO, R.; MENEZES, J.; DE LIMA, L. A.; SAPIENZA, J. A. Índice de Vegetação por diferença normalizada para

- análise da redução da Mata Atlântica na região costeira do Distrito de Tamoios, Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais - CADEGEO**, Niterói, v. 1, n. 1, p.14-22, 2010.
- MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5-18, 2009.
- MOREIRA, F., CATRY, F. X.; SILVA, J. S.; REGO, F. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**. Lisboa: ISAPRESS, 2010, 323 p.
- OLIVEIRA, I. M. S.; SALES, A. D.; SILVEIRA, E. M. O.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M. Análise multitemporal da regeneração natural da candeia após ocorrência de incêndio florestal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 12, n. 2, p. 192-197, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i2.4719>
- PRUDENTE, T. D. **Risco integrado de incêndio florestal em áreas de Cerrado: contribuições metodológicas**. 2016. 130f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- RIBEIRO, M. C.; FIGUEIRA, J. E. C. Uma abordagem histórica do fogo no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, n. 2, p. 212-227, 2011.
- Washington: NASA/GSFC, 1974. 371 p. (Final Report, Type III).
- SILVA, O. F. **Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas, Goiás**. 2014. 95f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2014.
- SILVA, D. M.; LOIOLA, P. 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**, Brasília, n. 2, p. 26-39, 2011.
- SOUSA, F. D. R.; ELMOOR-LOUREIRO, L. M. A. Cladóceros fitófilos (Crustacea, Branchiopoda) do Parque Nacional das Emas, estado de Goiás. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, n. 1, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1676-06032008000100019>
- VELASCO, G. D. N.; POLIZEL, J. L.; COLTRI, P. P.; LIMA, A. M. L. P.; SILVA FILHO, D.F. Aplicação do índice de vegetação NDVI (*normalized difference vegetation index*) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações. **Revista da sociedade brasileira de arborização urbana**, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 1-12, 2007.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement retrogradation of natural vegetation**.