
USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE QUEIMADAS NO PARQUE ESTADUAL ENCONTRO DAS ÁGUAS

Amanda Caroline de Oliveira

Pedro Otávios da Silva Vieira Costa

Rodrigo Belli Vieira

Sergio Vicente Denser Pamboukian

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Dante da reconhecida importância socioambiental do Pantanal, causam grande preocupação as notícias relatando os devastadores incêndios e queimadas ocorridas no ano de 2020 na região. Este trabalho visa a identificar e analisar a ocorrência de incêndios em 2020 no Parque Estadual Encontro das Águas, por meio de imagens dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2, além de comparar os índices espectrais *normalized burn ratio* (NBR) e *normalized difference vegetation index* (NDVI) para definir o mais adequado para essa análise. A comparação confirmou os resultados esperados, apontando o NBR como o índice mais adequado para a identificação e classificação de áreas queimadas, não só por se demonstrar mais sensível à área prejudicada, como também por evitar a ocorrência de falsos positivos. As imagens processadas com a utilização do software QGIS para o índice NBR, demonstraram uma queimada agressiva no parque no segundo semestre do ano, em especial nos meses de agosto, setembro e outubro. Além disso, quando o mesmo período foi analisado para o ano de 2019, ficou claro que as queimadas no ano de 2020 duraram mais e foram mais devastadoras, com uma área queimada total aproximadamente 11 vezes maior.

Palavras-chave: Índice espectral. Monitoramento. NBR. NDVI. Queimadas. Sensoriamento remoto.

1 INTRODUÇÃO

O Pantanal consiste em uma área úmida, de aproximadamente 150 mil km², abrangendo estados do Centro-Oeste brasileiro e países como Bolívia e Paraguai. Localizado no centro da América do Sul, o Pantanal não tem uma fauna muito diferente da fauna dos biomas que o circundam e abriga espécies de todos esses biomas. Assim, o Pantanal tem mais espécies por hectare do que todos os biomas ao seu redor (ALHO *et al.*, 2019). Segundo o levantamento de Pott *et al.* (2011), podem ser encontradas no bioma do Pantanal aproximadamente duas mil espécies de plantas. De acordo com Manoel *et al.* (2014), há cerca de 1.050 espécies de animais terrestres e aquáticos na região. Dentre essas espécies, cerca de 460 são aves, classificando o Pantanal como a área úmida com maior número de espécies aviárias do mundo.

Além da importância no quesito biodiversidade, é preciso ressaltar, também, a importância socioeconômica que essa biodiversidade traz para a população local, seja pela sua influência na pesca comercial, seja pelo turismo trazido por ela. Assim, torna-se clara a necessidade de conservação desse bioma, prezando por uma exploração biossustentável, a fim de garantir coexistência das atividades humanas com o ecossistema (ALHO *et al.*, 2019).

No período de janeiro a outubro de 2020, o bioma do Pantanal teve cerca de 23% da sua totalidade consumida pelas queimadas, o que mostra um aumento de, aproximadamente, um fator quatro vezes maior em relação ao ano anterior (BOURSCHEIT, 2020; LIBONATTI *et al.*; 2020). No mês de julho de 2020, nove focos de incêndio combinados representavam 68% de toda a área queimada no estado do Mato Grosso e, até o mês de agosto de 2020, sete desses focos ainda se mantinham ativos. Esses grandes focos de incêndio que atingiram o Pantanal mato-grossense estavam localizados em Poconé e Barão do Melgaço, municípios que abrigam duas grandes áreas de reservas ambientais do bioma (SILGUEIRO; VALDIONES; BERNASCONI, 2020).

Diante desse cenário, as constantes manchetes nos noticiários no ano de 2020, relatando queimadas e incêndios de enormes proporções destruindo boa parte do ecossistema do Pantanal, são extremamente preocupantes, pois colocam em risco não só toda a biodiversidade da região, mas também a qualidade de vida da população local. Nesse cenário de queimadas intensas, cresce a preocupação com as unidades de conservação do bioma e, entre elas, a mais afetada pelas chamas foi o Parque Estadual Encontro das Águas, cuja grande parte da extensão foi consumida pelo fogo, ameaçando a preservação das espécies em extinção, como a arara-azul e a onça pintada (EINHORN *et al.*, 2020; LEMOS, 2020; MENEGASSI, 2020).

O Parque Estadual Encontro das Águas, localizado entre os municípios de Poconé e Barão do Melgaço, é uma área do Pantanal protegida pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso, considerado o maior santuário de onças pintadas do mundo, espécie que se encontra ameaçada de extinção. No período de queimadas no ano de 2020, diversos noticiários relataram a grandeza dos incêndios e a devastação causada no bioma. Estima-se que o parque teve de 65% a 93% de sua área total queimada até outubro de 2020 (RIBEIRO JÚNIOR, 2020; LACERDA, 2020; ILHÉU, 2020).

Frente a esses acontecimentos, o sensoriamento remoto apresenta-se como um importante artifício para o monitoramento ambiental, visto que possibilita observar grandes áreas em apenas uma única imagem, o que reduz a mão de obra e o custo necessários, evitando deslocamento de expedições de campo. O sensoriamento remoto faz uso da energia eletromagnética refletida para a diferenciação dos diversos espectros e coleta de dados em diferentes épocas (IBRAHIN, 2016).

A utilização de imagens de sensoriamento remoto, obtidas por meio de satélites, auxilia no monitoramento do bioma permitindo identificar as áreas queimadas e quantificar o dano gerado. Assim, os dados obtidos por esse tipo de instrumento podem auxiliar as gestões governamentais e entidades privadas na tomada de decisões quanto ao combate aos incêndios, podendo ainda fornecer uma cronologia de eventos passados, o que possibilita ações preventivas para minimizar eventos futuros (ABREU; COUTINHO, 2014; MORAES, 2002).

Portanto, este estudo tem como objetivo comparar os índices espectrais *normalized difference vegetation index* (NDVI) e *normalized burn ratio* (NBR) na identificação de áreas queimadas, quantificar as áreas queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, durante o ano de 2020, e comparar as áreas queimadas em 2019 e 2020 nos meses mais intensos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O sensoriamento remoto é definido por Florenzano (2011, p. 9) como “[...] a tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”, consistindo em uma técnica que não apresenta contato físico com o objeto analisado. Para isso, utilizam-se sensores eletrônicos em níveis aéreos ou orbitais que registram os fluxos da radiação eletromagnética dos objetos (FLORENZANO, 2011).

No sensoriamento remoto, a radiação eletromagnética é utilizada como canal de interação entre o sensor e o objeto. A radiação eletromagnética se propaga na forma de ondas com a velocidade da luz inserida ou não em um meio. As características mais importantes da radiação eletromagnética são a frequência e o comprimento das ondas, que definem os diversos espectros eletromagnéticos por bandas (LIU, 2015).

Os espectros da radiação eletromagnética podem ser organizados, como mostrado na Figura 1, na qual estão ordenados de forma crescente tanto o comprimento de onda e decrescente, quanto à frequência, visto que a frequência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais. As bandas do espectro eletromagnético são divididas em bandas visíveis, compreensíveis nas cores vermelho, verde e azul – conjunto de bandas conhecido como *red, green, blue* (RGB) –, e bandas invisíveis que compreendem as bandas de infravermelho e as bandas ultravioletas, além das ondas de rádio e micro-ondas (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

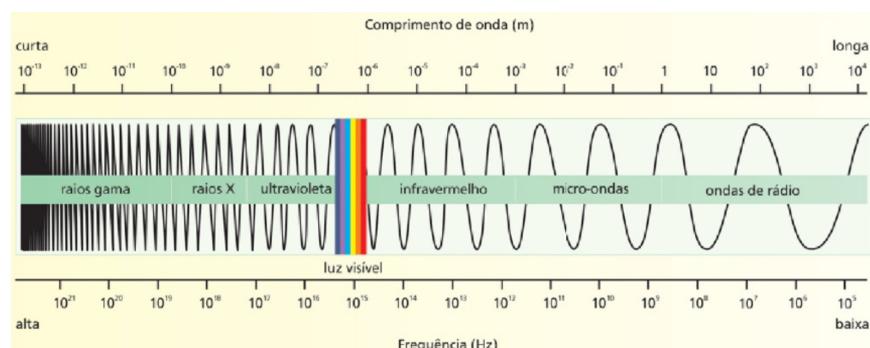


Figura 1 Espectro eletromagnético

Fonte: Florenzano (2011, p. 11).

A radiação eletromagnética é emitida ou refletida por qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto (0 K). Assim, qualquer objeto na superfície terrestre pode ser detectado pelos sensores de satélites, que registram as energias refletidas ou emitidas por diferentes objetos em uma curva espectral distinta. Essas curvas são conhecidas como assinaturas especrais e permitem a identificação dos objetos ou fenômenos na superfície terrestre. Portanto, as imagens das bandas especiais geradas pelos sensores nos satélites são resultantes do registro da reflectância da radiação eletromagnética. A reflectância consiste na proporção entre a radiância, que é a radiação refletida em uma área diretamente para o sensor, e a irradiância, que é o total de radiação incidida nessa área. Além disso, a imagem gerada pelo sensor representa os valores

aproximados da reflectância para uma faixa do espectro da radiação eletromagnética, na escala de cor monocromática (LIU, 2015).

Desse modo, as técnicas de sensoriamento remoto buscam utilizar as bandas espectrais para realçar uma característica ou fenômeno presente na superfície terrestre. Dentre essas técnicas, as duas mais comuns em análises são a combinação colorida das bandas espectrais e os índices espectrais (FLORENZANO, 2011).

A combinação colorida das bandas espectrais é utilizada para realçar as características contidas na imagem. Essa técnica consiste na combinação de duas ou mais bandas espectrais em uma única imagem, em que cada banda espectral é associada a uma cor, resultando em uma imagem colorida. As imagens coloridas podem ser em cores verdadeiras, quando usadas as bandas da luz visível, ou em falsa cor, quando usadas na combinação as bandas da faixa invisível. Um exemplo é a combinação das bandas do infravermelho de ondas curtas ou infravermelho médio (*mid-wavelength infrared* [MWIR]), do infravermelho próximo e da cor vermelha, que realça a vegetação saudável possibilitando a análise da cobertura vegetal (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

Os índices espectrais são algoritmos calculados a partir de valores de reflectância espectral da radiação eletromagnética obtida pelos sensores, neste caso, a bordo do satélite. Esses algoritmos possuem as mais diversas finalidades e as bandas utilizadas variam conforme os aspectos físico-químicos do que se deseja estudar, podendo ser utilizadas tanto as bandas do espectro visível (RGB) quanto as do espectro invisível, como o infravermelho (FLORENZANO, 2011).

Para análise de vegetação, o índice mais difundido entre os pesquisadores é o NDVI, proposto por Rouse *et al.* (1974), com o objetivo de identificar as condições da cobertura vegetal. Para isso, o NDVI utiliza a banda espectral vermelha (*red* [R]) e banda do infravermelho próximo (*near infrared* [NIR]), conforme a Equação 1.

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

O valor do NDVI para cada *pixel* apresenta um número no intervalo de -1 a +1, em que os valores positivos representam a saúde da cobertura da vegetação, os valores próximos de zero representam o solo sem vegetação, e os valores negativos, as nuvens, águas e rochas (ROUSE *et al.*, 1974).

Essa classificação é possível, porque o NDVI aborda a reflectância da clorofila e a estrutura interna da folha da vegetação, assim, quando a vegetação está saudável, apresenta uma reflectância baixa das bandas visíveis e alta reflectância das bandas de infravermelho, resultando em um valor positivo próximo de 1 (LIU, 2015; ROUSE *et al.*, 1974).

Outro índice espectral aplicado para a identificação de áreas queimadas é o NBR, elaborado por Key e Benson (2006) com a aplicação das bandas espectrais de infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MWIR), conforme Equação 2.

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

A escala de valores do NBR é compreendida entre o intervalo de -1 a +1, em que os valores negativos representam a cobertura vegetal queimada, os valores próximos de zero representam os corpos d'água e solo sem vegetação, e os valores positivos representam a vegetação saudável (KEY; BENSON, 2006).

Segundo Key e Benson (2006), a escolha das bandas NIR e MWIR se justifica, pois são as bandas que mais respondem a áreas queimadas quando comparadas antes e depois do fogo, porém em direções diferentes, sendo que é mais comum que NIR diminua e MWIR aumente após o fogo. Ainda segundo Key e Benson (2006), levanta-se a hipótese de que a diferença do índice NBR (ΔNBR) entre o NBR pré-queimada e o NBR pós-queimada esteja correlacionada com o tamanho do dano causado pelo fogo à vegetação pré-existente, definido pela Equação 3.

$$\Delta NBR = NBR_{pré} - NBR_{pós} \quad (3)$$

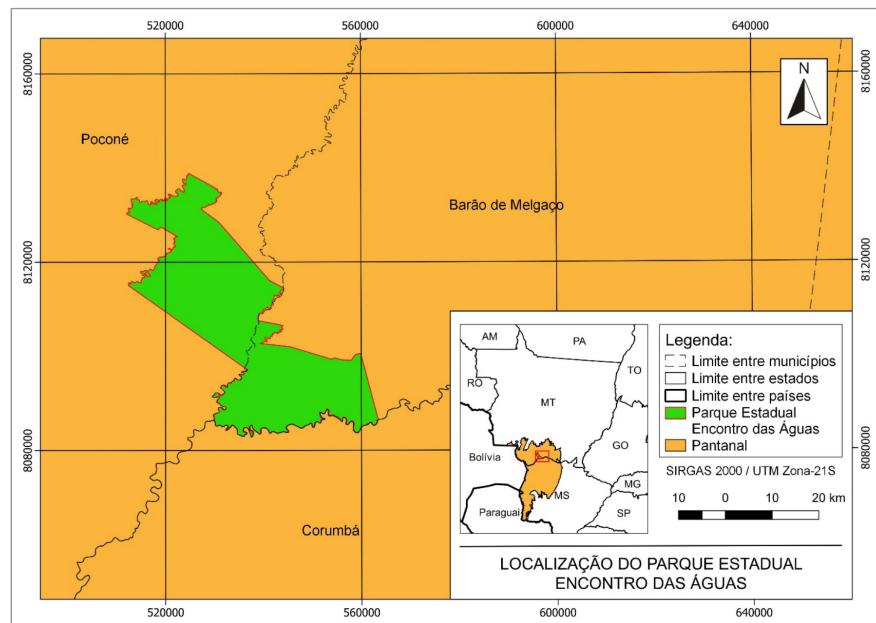
Diversos trabalhos científicos foram elaborados a fim de difundir e validar os índices de vegetação na identificação das áreas queimadas, como a análise realizada por Silva, Pestana e Martins (2019), que aplicaram o índice NBR para identificar as regiões afetadas pelo fogo no Parque Estadual do Mirador, no Maranhão, no período de maio a setembro de 2018. Com esse estudo foi possível identificar com êxito as regiões afetadas e foi possível quantificar o dano ao Parque. Assim, pôde-se fornecer à gestão deste dados auxiliares e comparativos para o momento e para o futuro.

Outros estudos buscaram realizar comparações entre os índices espetrais com o objetivo de definir as melhores aplicações, como o estudo desenvolvido por Leite *et al.* (2017), no qual os pesquisadores compararam a eficiência dos índices NDVI e NBR na identificação de queimadas, utilizando como objeto de estudo o Parque Nacional da Chapada Diamantina, nos limites do município de Macugê, na Bahia. No estudo comparativo, observou-se que ambos os índices conseguiram classificar as regiões afetadas pelo fogo, porém, concluiu-se que o índice NBR apresentou maior eficiência na identificação, uma vez que realçou melhor as áreas queimadas. Além disso, foi observado que o NDVI conseguiu diferenciar as nuvens dos alvos na imagem.

Pereira *et al.* (2015) realizaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar os índices espectrais para a identificação de queimadas, tomando como área de estudo o Cerrado, restringindo-se a duas regiões diferentes do bioma. As imagens utilizadas foram as do sensor Thematic Mapper (TM), do programa Landsat. Ao todo, foram testados dez índices espectrais, entre eles destacam-se: *burned area index* (BAI), *normalized burn ratio* (NBR), *normalized difference vegetation index* (NDVI), *variation of normalized burn ratio* (NBR2) e o *mid-infrared burn index* (MIRBI). Para a realização dessa comparação, foi utilizado um índice de separabilidade para avaliar a capacidade dos índices espectrais na classificação das áreas queimadas ou não queimadas, utilizando os resultados das imagens pré-queimada e pós-queimada. O resultado do estudo apontou que, para o Cerrado brasileiro, os índices com a melhor separabilidade foram o MIRBI e o NBR2, e os índices NBR e NDVI apresentaram uma separabilidade boa, sendo o NBR o mais eficiente na identificação das áreas queimadas em comparação ao NDVI. O índice BAI foi o que apresentou uma separabilidade fraca, pois misturou os *pixels* com áreas queimadas e não queimadas. Já os demais índices dos estudos se demonstraram inconsistentes, com separabilidade boa em alguns casos e fraca em outros.

3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Parque Estadual Encontro das Águas, pertencente ao bioma Pantanal. Criado em 2004, por meio do Decreto nº 4.881, de 22 de dezembro, pelo governo estadual do Mato Grosso, o parque é definido em termos legais como unidade de proteção integral, permitindo apenas atividades de pesquisa científica e turismo ecológico. Com uma área total aproximada de 101.131 hectares e um perímetro de cerca de 300 km, o parque tem sua área estendida por 43,3% e 56,7% da área dos municípios de Poconé e Barão de Melgaço, respectivamente, conforme Mapa 1 (UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL, 2022).



Mapa 1 Mapa do Parque Estadual Encontro das Águas

Fonte: Elaborado pelos autores.

As análises realizadas estão divididas em três etapas subsequentes. A primeira consiste na comparação entre os índices espetrais com o objetivo de definir o mais adequado para a identificação das áreas queimadas. Em seguida, a partir da definição do índice espectral mais adequado, ele foi aplicado às imagens dos meses de 2020 e, posteriormente, realizou-se a quantificação das áreas queimadas em cada imagem. A segunda análise tem o objetivo de visualizar a evolução das queimadas ao longo do ano. Na terceira análise, foram feitas a aplicação do índice espectral e a quantificação das áreas queimadas no segundo semestre do ano de 2019. Em seguida, foi feita a comparação entre os meses desse período para os anos de 2020 e 2019, buscando entender o comportamento da queimada nesse período.

O processo para a aquisição das imagens de satélites inicia-se com a escolha de um satélite que atenda ao objetivo do estudo. Essa escolha é realizada por meio da análise das resoluções espaciais, temporais e radiométricas dos satélites disponíveis e informações complementares referentes ao produto final disponibilizado. Neste estudo, foi definida inicialmente a possibilidade de utilizar as imagens dos programas espaciais Landsat-8, Sentinel-2 e CBERS-4, devido à facilidade de aquisição das imagens em plataformas gratuitas. Assim, para a comparação das resoluções, entre os satélites dos

programas desejados, foi elaborada a Tabela 1, que apresenta as características dos satélites Landsat-8, Sentinel-2 e CBERS-4.

TABELA 1

Comparação entre as resoluções dos satélites Landsat-8, Sentinel-2 e CBERS-4

Satélite	Sensor	Resolução espacial (m)	Resolução temporal (dias)	Resolução espectral e comprimento de onda (μm)	
Sentinel-2 (A/B)	MSI	20	5	(B) 0,49 (G) 0,56 (R) 0,67	(NIR) 0,87 (SWIR1) ¹ 1,61 (SWIR2) 2,19
Landsat-8	OLI	30	16	(B) 0,45-0,52 (G) 0,50-0,60 (R) 0,63-0,69	(NIR) 0,76-0,90 (MIR) 1,55-1,75 (MIR2) 2,11-2,29
CBERS-4	MUX	16,5	31	(B) 0,45-0,52 (G) 0,52-0,59	(R) 0,63-0,69 (NIR) 0,77-0,89

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe, 2022).

Com base nas características da área de estudo e nas informações sobre os satélites mostradas na Tabela 1, o satélite CBERS-4 foi descartado por não apresentar a banda espectral do infravermelho médio (2,11-2,29 μm), necessária para o cálculo dos índices espectrais. Já na comparação entre os satélites Sentinel-2 e Landsat-8, ambos apresentam resoluções que atendem ao estudo. Assim, o fator decisivo na escolha do satélite foi a disposição na união das imagens. A necessidade dessa união ocorre pelo fato de os satélites não conseguirem cobrir a totalidade da área de estudo com uma única imagem, portanto há a necessidade de utilizar duas imagens que se completam. Nos satélites Sentinel-2, essa união ocorre com imagens no mesmo instante, ou seja, no mesmo dia e hora. Já no satélite Landsat-8, a união ocorre com imagens de dias diferentes, provocando uma quebra visual na região de junção das imagens. Com a avaliação das resoluções e o fator da união das imagens, foram escolhidas as imagens do programa espacial *Sentinel-2*, composta por dois satélites: o Sentinel-2A e o Sentinel-2B, como fonte principal do estudo (INPE, 2022).

Durante a escolha das imagens, foi possível observar a data de captura e a qualidade da imagem, de modo a descartar imagens cobertas por nuvens, fumaça ou qualquer outro fator que impossibilitasse a visualização da superfície terrestre. No

1 SWIR1 = Short-Wavelength Infrared 1; SWIR2 = Short-Wavelength Infrared 2; MIR = Mid-Infrared; MIR2 = Mid-Infrared 2.

entanto, em alguns casos, não havia opção com boa qualidade para o estudo, ou o programa espacial deixava de fornecer a imagem por alguma falha ocorrida no registro dela. Assim, a utilização de dois ou mais programas espaciais tornou-se necessária para evitar a falta de imagens e não prejudicar o período do estudo. Nesse caso, foi adotado como satélite secundário o Landsat-8, cuja resoluções espaciais também atendem às necessidades da pesquisa.

O desenvolvimento deste trabalho se iniciou com a aquisição das imagens que cobriam a área do Parque Estadual Encontro das Águas, abrangendo todos os meses de 2020 e o segundo semestre de 2019. Para a aquisição das imagens, foi utilizada a plataforma Copernicus Open Access Hub, da European Space Agency (ESA); para as imagens do programa espacial, o Sentinel-2; e, para aquisição das imagens do satélite Landsat-8, o catálogo de imagens, do Inpe.

Para o processamento das imagens de satélites, foi utilizado o *software* QGIS, versão 3.10, desenvolvido por colaboradores voluntários da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). O *software* é caracterizado como *open source*, ou seja, apresenta seu código fonte aberto, além de ser disponibilizado gratuitamente. Outra característica dos *softwares* de código aberto é a criação de ferramentas externas (*plugin*) por terceiros, que buscam auxiliar ou complementar as funções do *software*. Um exemplo é o *plugin* Semi-Automatic Classification (SCP), desenvolvido por Congedo (2020), utilizado no *software* QGIS, que possui diversas ferramentas que facilitam as etapas de processamento e pré-processamento das imagens de satélites. Neste estudo, o *plugin* SCP foi utilizado na etapa de pré-processamento das imagens de satélites, etapa seguinte à aquisição das imagens do estudo, para facilitar a realização das correções atmosféricas que consiste na correção dos valores da reflectância no topo da atmosfera para valores na superfície terrestre, ou seja, valores da reflectância no fundo da atmosfera.

As imagens adquiridas do Sentinel-2, por meio da plataforma Copernicus Open Access Hub, são disponibilizadas em dois níveis de correções atmosféricas, e no primeiro nível, o 1C, é aplicado um algoritmo que corrige os valores da radiância registrados pelo sensor em valores da reflectância no topo da atmosfera. Para isso, utilizam-se os registros multiespectrais, além de corrigirem-se as camadas de máscara das nuvens e outras camadas. Já no segundo nível, o 2A, é aplicado o algoritmo desenvolvido por Richter e Schläpfer (2015), para corrigir os valores da reflectância no topo da atmosfera para valores da reflectância no fundo da atmosfera, utilizando como base o nível 1C. Neste estudo, as imagens adquiridas da missão Sentinel-2 são do nível de correção 2A, sem a necessidade de se realizar qualquer correção externa nos valores dos *pixels* (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2012).

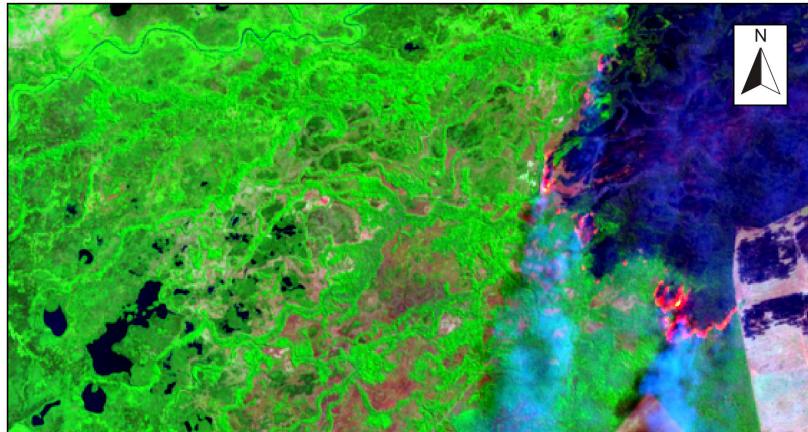
Para as imagens das bandas do Landsat-8, adquiridas pelo catálogo de imagens do Inpe, são fornecidas imagens sem a correção atmosférica, nas quais foram realizadas

apenas as correções espaciais e radiométricas. Desse modo, é necessário realizar as correções atmosféricas com o uso de ferramentas externas. Neste estudo, foi utilizado o *plugin* SCP, versão 7.0.0.1, no *software* QGIS. No *plugin*, a ferramenta de correção atmosférica utiliza a método *dark object subtraction* (DOS), desenvolvida por Chavez Jr. (1996). Esse método consiste, primeiramente, na correção do valor da radiância para o valor da reflectância no topo da atmosfera e, em seguida, a correção dos valores da reflectância no topo da atmosfera para valores próximos da superfície terrestre, resultando em um produto final com as correções atmosféricas (CONGEDO, 2020).

Após a realização da etapa de pré-processamento, inicia-se a etapa de processamento que consiste na utilização das técnicas de sensoriamento remoto para a criação de imagens que facilitem a análise da superfície terrestre. Neste estudo, foram utilizadas duas técnicas para realçar características das imagens de satélites: a primeira é a combinação de bandas espectrais, que consiste na união de duas ou mais bandas formando uma imagem colorida; e a segunda são os índices espectrais, que, por meio da aplicação de uma equação, estabelecem uma escala numérica para os valores dos *pixels*. Além dessas técnicas, foram utilizadas ferramentas que permitem manipular as imagens, tais como a ferramenta “mesclar”, que possibilita a união de duas ou mais imagens em uma, e a ferramenta “recortar raster pela camada de máscara”, que viabiliza o recorte de uma camada *raster* através de uma camada vetorial. O *software* QGIS também auxiliou na criação de mapas temáticos para exemplificar a localização da área estudada e de imagens que auxiliam na demonstração das conclusões, por meio do compositor de impressão.

A combinação de bandas que permite a análise da vegetação busca realçar com cores a saúde da cobertura vegetal: locais que apresentam uma cor, determinada pelo usuário, caracterizam vegetações saudáveis e locais que apresentam outra cor, também determinada pelo usuário, caracterizam vegetações mortas ou doentes. Para isso, utilizam-se as bandas do infravermelho de ondas curtas ou infravermelho médio, do infravermelho próximo e da cor vermelha. Essas bandas variam conforme o satélite utilizado, sendo, respectivamente, para os satélites Sentinel-2, as bandas 11, 8A e 4; e, para o satélite Landsat-8, as bandas 6, 5 e 4. No *software* QGIS, podemos realizar a combinação de bandas espectrais por meio da ferramenta “mesclar” no menu “raster” e, na categoria “miscelânea”, que além de permitir a combinação de bandas, também, possibilita a união das camadas *raster*. A Figura 2 mostra a combinação de falsa cor para a análise da vegetação, gerada a partir das bandas 11, 8A e 4 do Sentinel-2A, em que a vegetação saudável aparece em verde e a vegetação morta ou doente, na cor violeta escuro (FLORENZANO, 2011).

Combinação R(11)G(8A)B(4) – agosto/2020



Satélite: Sentinel-2A
Resolução espacial: 20 m
WGS 84 / UTM Zona 21S

Escala:
800 0 800 1.600 2.400 3.200 m

Figura 2 Combinação de falsa cor (R11G8AB4) para análise da vegetação

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a identificação das áreas queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, foram utilizados os índices espectrais por meio de imagens de falsa cor, o que facilita a visualização das áreas afetadas. A partir da revisão da literatura, constatou-se que os índices espectrais NBR e NDVI eram frequentemente utilizados nos estudos sobre a vegetação na superfície terrestre e na identificação de áreas queimadas. Como exemplo, cita-se o estudo realizado por Silva, Pestana e Martins (2019), que tinha o objetivo de identificar as áreas afetadas pelas queimadas no Parque Estadual do Mirador, no Maranhão, e, para isso, foi utilizado o índice NBR. Já no estudo realizado por Leite *et al.* (2017), além da identificação das áreas queimadas no Parque Nacional da Chapada Diamantina, na Bahia foi realizada a comparação entre os índices NDVI e NBR. Assim, foram criadas, para esta investigação, imagens dos índices NBR e NDVI, nos meses de agosto e setembro de 2020, buscando, por meio de comparação, identificar aquele que melhor se adequa às necessidades dos objetivos desta pesquisa.

Para o cálculo do NDVI, conforme a Equação 1, foram utilizadas as bandas do infravermelho próximo e a da cor vermelha, sendo, respectivamente, para o Sentinel-2, as bandas 8A e 4, conforme a Equação 4.

$$NDVI = \frac{8A - 4}{8A + 4} \quad (4)$$

Para o cálculo do NBR, conforme a Equação 2, foram utilizadas as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio, sendo que, para o Landsat-8, conforme a Equação 5, correspondem as bandas 5 e 7, respectivamente. Já para o Sentinel-2, são utilizadas as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas, sendo que o infravermelho de ondas curtas do Sentinel-2 corresponde ao infravermelho próximo do Landsat-8. Assim, são utilizadas as bandas 8A e 12, conforme a Equação 6.

$$NBR = \frac{5 - 7}{5 + 7} \quad (5)$$

$$NBR = \frac{8A - 12}{8A + 12} \quad (6)$$

Por meio do software QGIS, já realizada a inserção das bandas necessárias para o cálculo do índice espectral desejado, foi utilizada a ferramenta “calculadora *raster*”, disponível no menu *raster*. A utilização da ferramenta se dá com a digitação da fórmula desejada e a indicação da camada de saída. Após o término do processamento, o resultado é uma imagem *raster* monocromática, em que os *pixels* representam o valor do índice calculado. Assim, é necessário aplicar à imagem uma escala de cor. Para isso, altera-se o tipo de renderização da banda nas propriedades da camada *raster*, que se localiza na categoria “simbologia” na janela das propriedades da camada. Nessa categoria, pode-se alterar o intervalo da escala de cor, suas cores e o modo como é feito o escalonamento. Este estudo também adotou escala de cores *purple-red-green* (PRGn) de cinco classes com um intervalo de -1 a 1, como mostrado na Figura 3. Para fins de comparação, foi atribuída a mesma escala para ambos os índices espectrais.

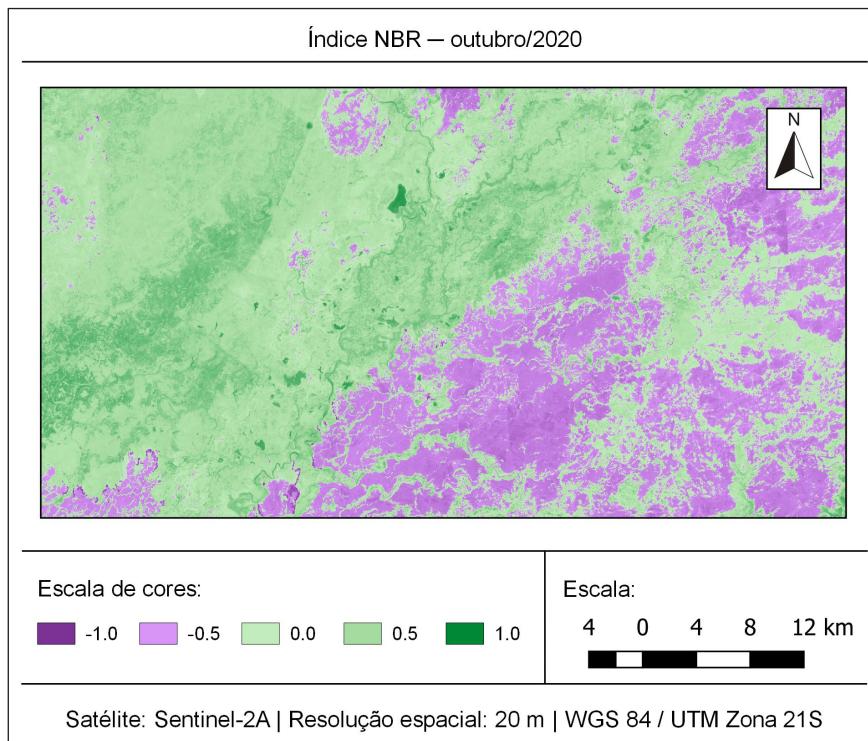


Figura 3 Imagem do uso da escala de cores para o índice NBR no Parque Estadual Encontro das Águas

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além da identificação das áreas queimadas, o índice NBR permite realizar a quantificação dessas áreas. Isso é possível por meio da contagem dos *pixels* de valores negativos que representam as áreas queimadas, conforme a escala do índice. Porém, antes de usar a ferramenta para calcular a área desejada, deve-se recortar a camada *raster* nas dimensões ou limitações da área de análise, e, neste estudo, a delimitação é a do próprio Parque Estadual Encontro das Águas. Para isso, foi utilizada a ferramenta “recortar *raster* pela camada de máscara”, no menu “*raster*” e, na categoria “extrair” do *software*.

Com a imagem *raster* delimitada, podemos utilizar a ferramenta “reporta camada *raster* de valor único”, que possibilita realizar o cálculo da área de uma imagem de satélite. Essa ferramenta utiliza uma camada *raster* na entrada de dados e retorna como resultado uma tabela que pode ser usada dentro do *software*, ou exportada para outros aplicativos. A tabela resultante do processamento da ferramenta é

dividida em três colunas em que: a primeira apresenta os valores numéricos de todos os *pixels* que formam a imagem; a segunda, quantas vezes esses valores se repetem na imagem; a terceira, a área total para cada valor de *pixels*. Para facilitar a análise dos resultados, as tabelas da contagem gerada para cada imagem do índice NBR foram exportadas para o Microsoft Excel, em que se calculou a somatória dos valores da área total do parque e das áreas queimadas, identificadas pelos *pixels* por seus valores negativos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos processamentos estão divididos em três análises: na primeira, foi feita a comparação entre os índices espectrais e combinação de bandas; na segunda, foi feita a análise do comportamento da queimada no Parque Estadual Encontro das Águas, no ano de 2020; e, na terceira, a comparação entre o segundo semestre do ano de 2020 e de 2019.

A comparação entre os índices espectrais e a combinação de bandas foram realizadas com o objetivo de escolher qual seria o índice mais adequado para o objetivo do trabalho, ou seja, qual índice apresenta melhor resultado na identificação de áreas queimadas. Diante da revisão da literatura, estudos como o de Leite *et al.* (2017) e Pereira *et al.* (2015) cotejaram os índices NBR e NDVI e concluíram que o índice NBR é mais apropriado para a identificação de queimadas do que o índice NDVI. Desse modo, realizamos a comparação com o objetivo de verificar se as conclusões daqueles trabalhos valiam para a área de estudo deste trabalho.

Para as comparações, foram utilizadas as imagens geradas a partir da combinação R(11)G(8A)B(4) e dos índices NDVI e NBR. A comparação foi realizada com a imagem do mês de setembro de 2020, apresentada na Figura 4. Nas ampliações das imagens, a região afetada pela queimada é representada na composição de bandas pela cor violeta escuro, indicada pela seta A. Na imagem do índice NDVI, a região aparece em cor verde claro, representando os valores positivos próximos de zero. Já na imagem do índice NBR, essa região aparece em roxo-claro, sinalizando os valores negativos. Ao comparar a região indicada pela seta A, nas imagens dos dois índices espectrais, nota-se que o NBR apresenta superioridade na visualização das áreas queimadas quando comparado ao NDVI.

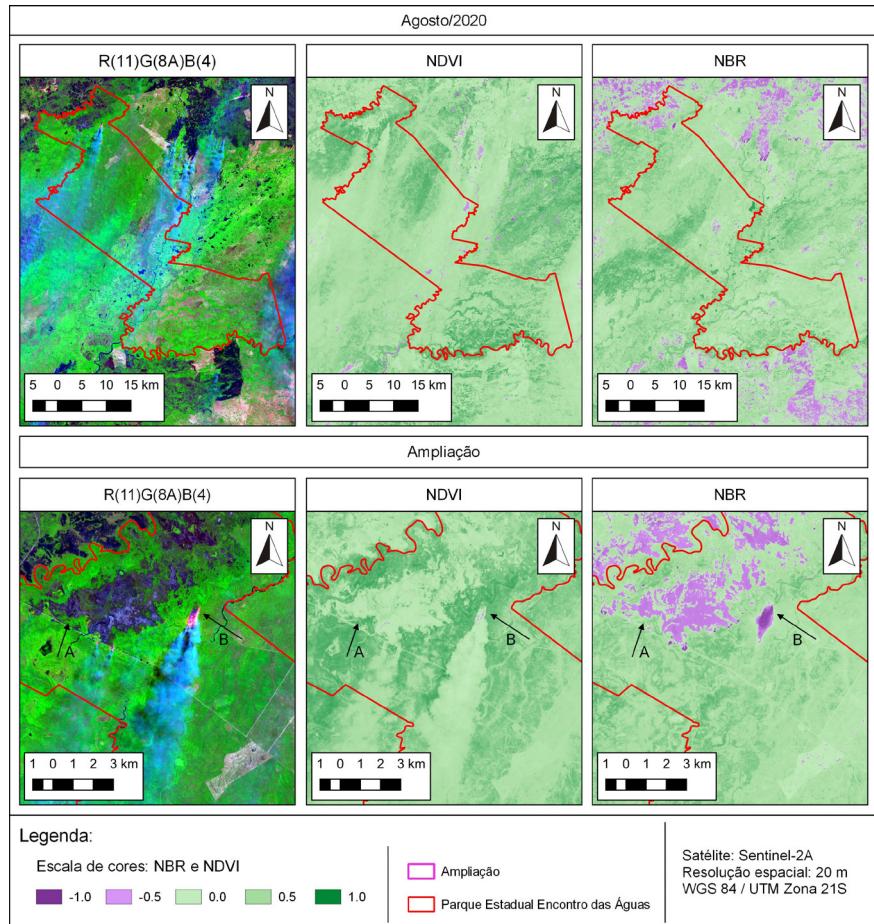


Figura 4 Comparação entre a combinação R(11)G(8A)B(4) e os índices espectrais NDVI e NBR no mês de setembro de 2020, a partir das imagens do Sentinel-2A

Fonte: Elaborada pelos autores.

A região indicada pela seta B apresenta um foco de incêndio ativo com a fumaça crescente ao norte e, ao analisarmos essa região na imagem do NDVI, observamos que o foco é representado pela mesma cor que a das demais áreas queimadas. Já na imagem do NBR, os focos de incêndio ativo são representados pelo roxo-escuro, que representa os valores próximos do limite negativo (-1). Também nessa região é possível observar que a fumaça originária do foco de incêndio, no NDVI, aparece na mesma cor das áreas queimadas, gerando uma interferência sobre os valores da superfície terrestre. Já

no NBR, em casos normais, essa fumaça é quase imperceptível, o que permite a avaliação da superfície terrestre sem grandes interferências. Isso ocorre devido às bandas utilizadas no cálculo de cada índice: para o NBR, utilizam-se as bandas do infravermelho, que reduzem as interferências atmosféricas, diferentemente do que ocorre com o NDVI, que utiliza a banda vermelha da luz visível e, consequentemente, é afetada pelos componentes da camada atmosférica.

O corpo d'água indicado pela seta C permite analisar o comportamento dos índices em relação à identificação e classificação da água na superfície terrestre. No NDVI, foi observado que o corpo d'água aparece em roxo, que representa valores negativos. Já no NBR, o corpo d'água aparece em verde-escuro, representando os valores positivos. Para as análises, cujo objetivo é a quantificação das áreas queimadas, o NBR apresenta ser superior ao NDVI pelo fato de os corpos d'água serem classificados com valores positivos, evitando a distorção dos valores das áreas.

A partir da definição do índice NBR como o mais adequado para a identificação e quantificação das queimadas, foram criadas imagens utilizando esse índice para cada mês do ano de 2020. O objetivo dessas séries de imagens mensais, ao longo do ano, foi a visualização do comportamento da queimada e a identificação do mês e do período em que a queimada foi mais intensa. Para alcançar esse objetivo, foram utilizadas as técnicas de sensoriamento remoto, em específico, os índices espectrais e a contagem dos *pixels* de valores negativos nas imagens do índice NBR, o que permitiu o cálculo das áreas queimadas dentro do limite do Parque Estadual Encontro das Águas. Os resultados do processamento são as imagens do índice NBR e os valores numéricos das áreas queimadas. A Figura 5 mostra as imagens dos meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro do ano de 2020, compreendendo o segundo semestre do ano.

Com os valores das áreas queimadas do parque, foi criado o Gráfico 1, que possibilita a análise da evolução das áreas queimadas. Assim, observou-se que o parque sofreu danos maiores em decorrência das queimadas entre os meses de agosto e outubro de 2020. Esse período foi definido a partir da análise da variação das áreas queimadas, sendo que entre os meses de agosto e setembro ocorreu um aumento de 1.194,9% na área queimada e, entre os meses de setembro e outubro, houve um aumento de 95,5%, o que caracteriza esse período como o mais intenso. O mês de outubro de 2020, apesar de apresentar a maior área queimada no ano, não demonstra uma grande intensidade, pois se observa que entre o mês de outubro e novembro ocorreu uma queda no valor da área, o que indica o fim da queimada e o início da recuperação do bioma. Ressalta-se que o valor da área queimada no mês de dezembro foi descartado por apresentar um valor inconsistente, ocorrido devido às grandes interferências atmosféricas e à ausência de alternativas na seleção das imagens. Mesmo selecionando a melhor imagem disponível, esta ainda apresentava interferências

atmosféricas muito densas, o que gerou uma máscara sobre a superfície terrestre impedindo a sua visualização.

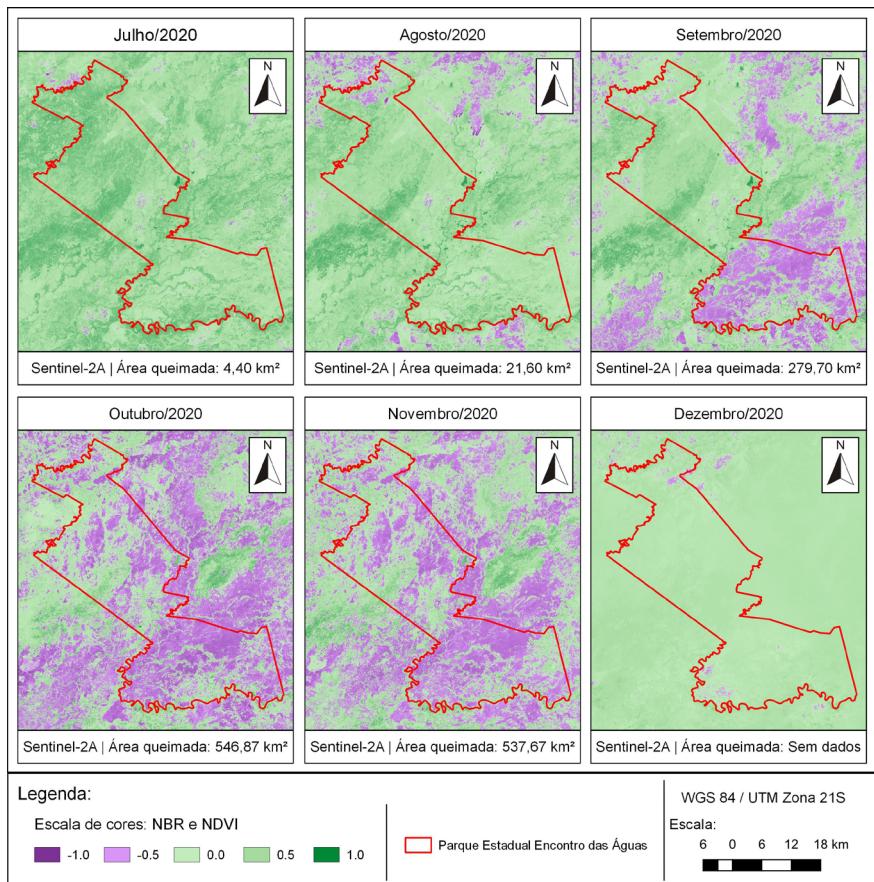


Figura 5 Imagens do índice espectral NBR dos meses do segundo semestre de 2020

Fonte: Elaborada pelos autores.

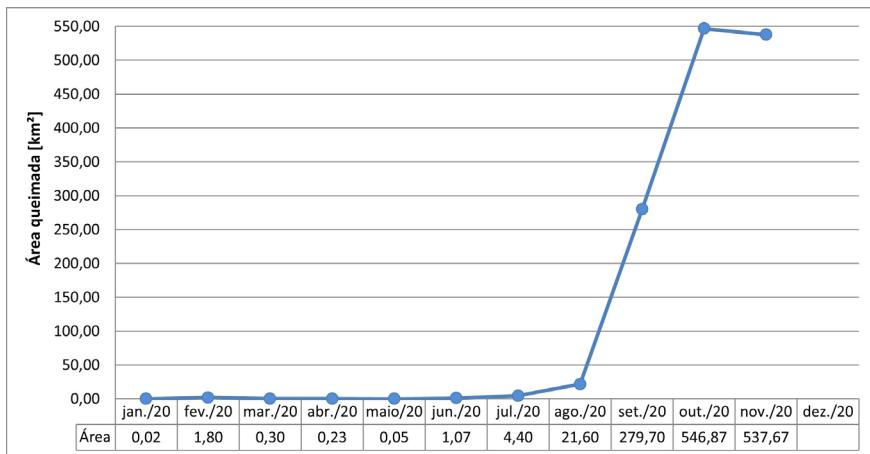


Gráfico 1 Áreas queimadas mensais do ano de 2020

Fonte: Elaborado pelos autores.

Portanto, os meses em que a queimada ocorreu de maneira mais agressiva foram os meses de agosto, setembro e outubro do ano de 2020. Entre eles, o mês de outubro apresentou a maior área queimada, resultante dos eventos intensos do mês anterior e o mês de setembro foi classificado como o mês mais intenso do ano, por estar entre o início e o término do período mais agressivo, além de apresentar o maior crescimento nos valores das áreas queimadas.

Considerando-se as reportagens veiculadas durante o ano de 2020, estimou-se que até o mês de outubro, o parque teria uma área queimada entre 65 e 93% de sua área total, valores encontrados nas notícias de Ribeiro Júnior (2020), Lacerda (2020) e Ilhéu (2020). Por meio das imagens e dados coletados por esse estudo e tomando como base a imagem do mês de outubro, foi calculada uma área queimada de 546,87 km², o que representa cerca de 50,6 % da área total do parque, diferente do valor noticiado durante o ano de 2020. Essa variação entre os valores está relacionada com a fonte dos dados e a metodologia utilizada para o quantitativo. Neste estudo, foi adotada a imagem do dia 18 de outubro de 2020 como representante do mês, o que pode gerar valores diferentes em comparação com estudo que realiza o monitoramento diário, como o levantamento do Instituto Centro de Vida, divulgado por Lacerda (2020). Além da frequência do monitoramento, outros fatores como a resolução espacial das imagens e a resolução espectral dos dados podem ocasionar valores diferentes.

Também se observou que, no segundo semestre do ano, ocorreu o período mais intenso de queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas. Assim, foi estabelecido que, para a comparação entre os anos de 2020 e 2019, seriam utilizadas as imagens

do segundo semestre. Com a definição do segundo semestre como período de comparação entre os anos, foram geradas as imagens do índice NBR para esse intervalo no ano de 2019. Com o processamento, obtivemos o resultado das imagens do índice NBR e os valores numéricos das áreas queimadas, apresentados na Figura 6.

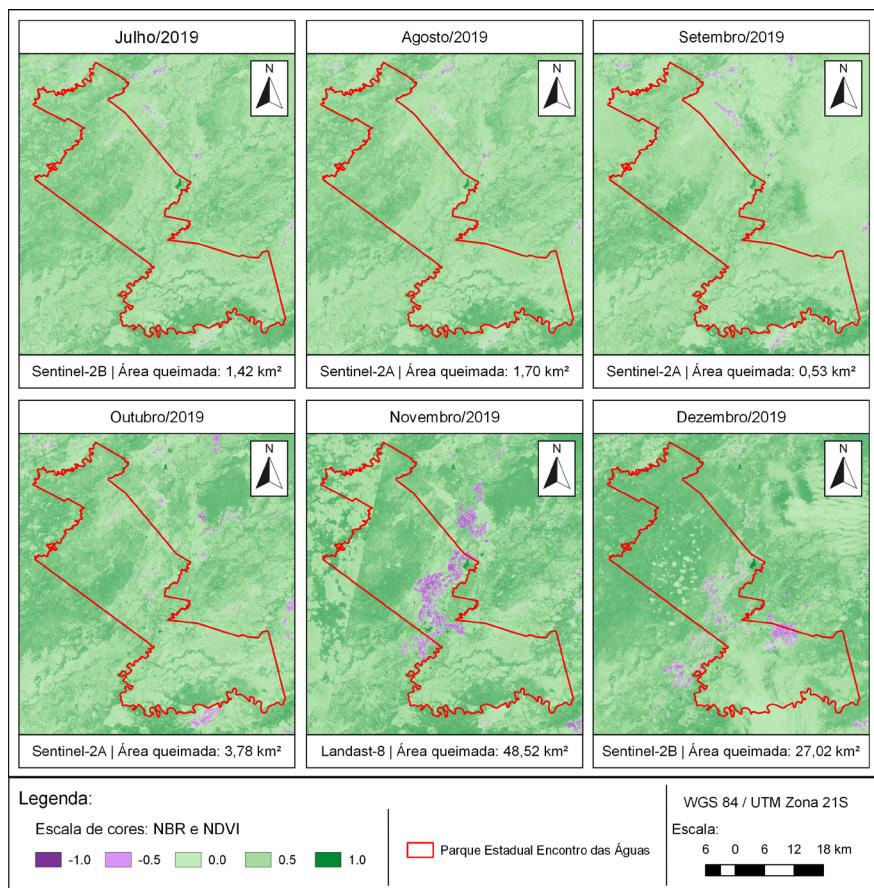


Figura 6 Imagens do índice espectral NBR dos meses do segundo semestre de 2019

Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos valores das áreas queimadas do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019, foi criado o Gráfico 2. Observando-se os meses com maiores valores de queimadas em cada ano, percebe-se que o mês de outubro de 2020 apresentou uma área 11 vezes maior do que o mês de novembro de 2019. Além disso, nota-se que o período

de alta das queimadas no parque variou entre os anos: no ano de 2020, entre os meses de agosto e outubro; e, no ano de 2019, entre os meses de setembro e novembro. Esse comportamento está relacionado a diversos fatores, entre eles, o principal é o período de seca e a intensidade de seus efeitos, o que, em 2020, ocorreu de maneira intensa e adiantada em relação a 2019.

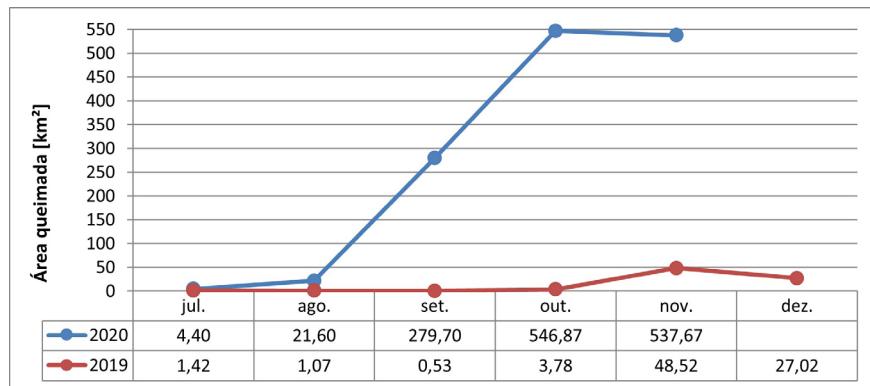


Gráfico 2 Áreas queimadas do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019

Fonte: Elaborado pelos autores.

Desse modo, o monitoramento permite avaliar os efeitos da queimada, além de associá-los aos fatores naturais ou antrópicos que levaram à alta dos eventos. A realização do monitoramento, de maneira constante, permite a criação de alertas para as autoridades, propiciando uma agilidade no combate aos incêndios, que traz como resultado a diminuição das áreas atingidas pelas queimadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do sensoriamento remoto para o monitoramento dos recursos ambientais cresce com o desenvolvimento das tecnologias. A aplicação na área ambiental possibilita observar grandes áreas sem a necessidade da visita de campo, o que permite a análise de áreas de difícil acesso. Além disso, as técnicas de sensoriamento remoto

permitem o processamento de dados não visíveis a olho humano, por meio do registro dos diversos espectros da radiação eletromagnética.

A utilização do sensoriamento remoto inicia-se com a definição do programa espacial que atende aos objetivos do estudo. Para isso, devem-se analisar as resoluções espaciais, espectrais e radiométricas dos satélites disponíveis e as características do produto final disponibilizado. Nesta investigação, foram selecionados inicialmente os programas espaciais Landsat-8, Sentinel-2 e CBERS-4 como possíveis fontes, porém, a partir da análise das resoluções, excluiu-se o satélite CBERS-4, porque não forneceria umas das bandas espectrais utilizadas no cálculo dos índices espectrais. Já na comparação entre as resoluções dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8, ambos apresentaram resoluções adequadas para o estudo, porém, o fator decisivo foi a maneira como seria realizada a união das imagens que cobrem a área total do parque. Diante desse fator, os satélites do programa Sentinel-2 mostraram-se a melhor opção, pois a união ocorreu com imagens do mesmo dia, ao contrário do satélite Landsat-8, que, para a área de estudo, forneceu imagens de dias diferentes, gerando em uma quebra visual. Contudo, em alguns casos, o programa Sentinel-2 não forneceu uma imagem com qualidade, ou ocorreu a ausência dela. Nessa situação, foi utilizado o Landsat-8 como fornecedor secundário de imagem, evitando a ausência de imagens no estudo.

Com o uso das técnicas de combinação de bandas e índices espectrais, este estudo teve como um dos objetivos a comparação dos índices espectrais NBR e NDVI. Para a identificação de queimadas, concluiu-se que o índice NBR apresentou melhor separabilidade entre vegetação saudável e queimadas, realçando bem os pontos ativos de chamas e diferenciou os corpos d'água das áreas queimadas, diferentemente do que ocorreu com o índice NDVI. Além disso, o índice NBR utiliza em sua formulação as bandas espectrais do infravermelho, o que resulta na redução da interferência dos componentes das atmosferas, como fumaça e nuvens.

A aplicação do índice espectral NBR, nas imagens dos meses do ano de 2020 e, posteriormente, nos meses do segundo semestre de 2019, permitiu a identificação e a quantificação das áreas queimadas, por meio da escala numérica do índice, a qual classifica as queimadas com valores negativos. A partir dos valores das áreas afetadas, é possível analisar o comportamento da queimada, o que resulta na identificação dos meses mais intensos, que foram agosto, setembro e outubro para o ano de 2020, e setembro, outubro e novembro para o ano de 2019.

Este estudo demonstrou a importância do monitoramento de eventos agressivos nas unidades de preservação, pois as informações obtidas por meio do sensoriamento remoto permitem a avaliação da eficácia das políticas públicas já utilizadas e podem auxiliar nas decisões futuras, tornando-as mais rápidas e eficazes. A eficiência do uso do monitoramento está diretamente relacionada às técnicas de sensoriamento remoto e à velocidade em que as imagens são disponibilizadas para as análises, que buscam

identificar os eventos naturais ou antrópicos ocorridos na superfície terrestre. Assim, o sensoriamento remoto é utilizado para a avaliação dos aspectos ambientais como as queimadas, situações em que é possível avaliar as regiões mais afetadas e a intensidade dos eventos, sem a necessidade de muitos equipamentos, diminuindo custos, tempo e risco de monitoramento.

Recomenda-se, para pesquisas futuras, a ampliação dos meses e anos do período de estudo e a utilização de mais imagens para o mesmo mês, a fim de que, diminuindo o intervalo entre as imagens, a análise, ao longo do evento, seja mais aprimorada. Recomenda-se também a avaliação de outros índices espectrais para a identificação de queimadas, buscando melhoria na qualidade dos resultados e sugerem-se a aplicação do índice Δ NBR para avaliação da agressividade das queimadas e a análise do comportamento do bioma do Pantanal durante o ciclo das queimadas. Pode-se ainda realizar um estudo relacionando os fatores climáticos do planeta com os eventos das queimadas em diversas regiões.

USE OF REMOTE SENSING FOR THE IDENTIFICATION OF FIRES AT THE ENCONTRO DAS ÁGUAS STATE PARK

Abstract

Given the recognized socio-environmental importance of the Pantanal, the news reporting the devastating fires that occurred in the year 2020 in the region are of great concern. This work aims to identify and analyze the occurrence of fires in 2020 at the Encontro das Águas state park, through images from the Landsat-8 and Sentinel-2 satellites, besides comparing the normalized burn ratio (NBR) and normalized difference vegetation index (NDVI) spectral indexes to define the most suitable for this analysis. The comparison confirmed the expected results, pointing out the NBR as the most adequate index for the identification and classification of burned areas, not only because it is more sensitive to the burned area, but also for avoiding the occurrence of false positives. The images processed using the software QGIS for the NBR index showed an aggressive fire in the park in the second half of the year, especially in the months of August, September, and October. Furthermore, when the same period was analyzed for the year 2019, it becomes clear that the fires in the year 2020 lasted longer and were more devastating, with a total burned area approximately 11 times greater.

Keywords: Spectral index. Monitoring. NBR. NDVI. Fires. Remote sensing.

REFERÊNCIAS

- ABREU, K. M. P. de; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. *Revista Vértices*, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 1, p. 173-198, jan. 2014.
- ALHO, C. J. R. et al. Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 22, e01891, 2019.
- BOURSCHEIT, A. Mais fogo e muita chuva ameaçam o Pantanal. *O Eco*, 29 set. 2020. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/reportagens/mais-fogo-e-muita-chuva-ameacam-o-pantanal/>. Acesso em: 9 nov. 2020.
- CHAVEZ JR., P. S. Image-based atmospheric corrections: revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 62, n. 9, p. 1025-1036, set. 1996.
- CONGEDO, L. Semi-automatic classification plugin documentation release 7.0.0.1. *Semi-Automatic Classification Plugin*, 25 out. 2020. DOI 10.13140/RG.2.2.25480.65286/1
- EINHORN, C. et al. O Pantanal se tornou um inferno. *The New York Times*, 27 out. 2020. Disponível em: <https://www.nsctotal.com.br/noticias/o-pantanal-se-tornou-um-inferno>. Acesso em: 7 nov. 2020.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. *Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services*. Leiden: ESA Communications, 2012. Disponível em: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf. Acesso em: 5 maio 2021.
- FLORENZANO, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- IBRAHIN, F. I. D. *Introdução ao geoprocessamento ambiental*. São Paulo: Editora Érica, 2016.
- ILHÉU, T. Pantanal em chamas: como é o bioma e como ele é cobrado nas provas. *Guia do Estudante*, 16 set. 2020. Disponível em: <https://guiadorestudante.abril.com.br/estudo/pantanal-em-chamas-como-o-bioma-e-como-ele-e-cobrado-nas-provas/>. Acesso em: 26 maio 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Satélites*. 2022. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- KEY, C. H.; BENSON, N. C. *Landscape assessment (LA): sampling and analysis methods*. 2006. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/24066>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- LACERDA, N. Pantanal: chuva não ajuda e fogo já destruiu 93% do parque do Encontro das Águas. *Brasil de Fato*, 29 set. 2020. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2020/09/29/pantanal-chuva-nao-ajuda-e-fogo-ja-destruiu-93-do-parque-do-encontro-das-aguas>. Acesso em: 9 nov. 2020.
- LEITE, C. C. S. S. et al. Utilização dos índices espectrais NBR e NDVI na caracterização de incêndios no PARNA Chapada Diamantina (Bahia): estudo de caso dos Gerais do Machobongo.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Campinas. *Anais [...]*. Campinas: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017.

LEMOS, V. Incêndios no Pantanal: por que o fogo ainda ameaça o ecossistema mesmo após a chegada das chuvas. *BBC Brasil*, 7 nov. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-54848995>. Acesso em: 10 nov. 2020.

LIBONATI, R. et al. Sistema ALARMES – alerta de área queimada Pantanal, situação atual – quarta semana de outubro de 2020. Rio de Janeiro: Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais: UFRJ, 2020.

LIU, W. T. H. *Aplicações de sensoriamento remoto*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MANOEL, P. S. et al. Fauna. In: GUIMARÃES, E.; TREVELIN, C. C.; MANOEL, P. S. (org.). Pantanal: paisagens, flora e fauna. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. p. 47-75. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/126247/ISBN9788579835407.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 1 jun. 2021.

MENEGASSI, M. E. Fogo já atingiu mais que um quinto de todo o Pantanal. *O Eco*, 24 set. 2020. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/noticias/fogo-ja-atingiu-mais-de-um-quinto-de-todo-pantanal/>. Acesso em: 26 maio 2021.

MORAES, E. C. de. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: MORAES, E. C. de; ÁVILA, J. (org.). *Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf. Acesso em: 9 nov. 2020.

PEREIRA, A. A. et al. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no Cerrado brasileiro utilizando dados Landsat TM. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 68, n. 8, p. 1665-1680, 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44386>. Acesso em: 21 dez. 2020.

POTT, A. et al. Plant diversity of the Pantanal wetland. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, v. 71, n. 1, suppl. 1, p. 265-273, Apr. 2011.

RIBEIRO JÚNIOR, A. Queimada em refúgio das onças em MT teve origem em fazenda clandestina. *UOL*, 30 set. 2020. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/colunas/amaury-ribeiro-jr/2020/09/30/queimada-em-refugio-das-oncas-teve-origem-em-fazenda-clandestina.htm>. Acesso em: 9 nov. 2020.

RICHTER, R.; SCHLÄPFER, D. Atmospheric/Topographic correction for airborne imagery: ATCOR-4 user guide. *ReSe Applications Schläpfer*, Switzerland, jun. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268376667_Atmospheric_Topographic_Correction_for_Airborne_Imagery/link/55bf120e08ae092e96651af2/download. Acesso em: 5 maio 2021.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *NTRS – NASA Technical Reports Server*, 1974. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022555>. Acesso em: 17 nov. 2020.

SILGUEIRO, V.; VALDIONES, A. P.; BERNASCONI, P. Caracterização das áreas atingidas por incêndios em Mato Grosso. *Instituto Centro de Vida*, 2020. Disponível em: [https://www.icv.org.br/publicacao/caracterizacao-das-areas-tingidas-por-incendios-em-mato-grosso/](https://www.icv.org.br/publicacao/caracterizacao-das-areas-atingidas-por-incendios-em-mato-grosso/). Acesso em: 11 nov. 2020.

SILVA, F. S. da; PESTANA, A. L. M.; MARTINS, L. S. Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no cerrado maranhense: uma aplicação no parque estadual do mirador. *Revista Geográfica Acadêmica*, Boa Vista, v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019.

UNIDADES DE CONSERVACÃO NO BRASIL. *Parque Estadual Encontro das Águas*. 2022. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/4253>. Acesso em: 5 mar. 2021.

Contato

Sergio Vicente Denser Pamboukian
sergio.pamboukian@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em julho de 2021.
Aprovado em dezembro de 2021.