

AMANDA CAROLINE DE OLIVEIRA  
PEDRO OTÁVIOS DA SILVA VIEIRA COSTA  
RODRIGO BELLI VIEIRA

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

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro/a.

ORIENTADOR: PROF. DR. SERGIO VICENTE DENSER PAMBOUKIAN

São Paulo

2021

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA .....	5
1.2	OBJETIVOS.....	6
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>6</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>6</i>
1.3	JUSTIFICATIVA .....	6
1.4	METODOLOGIA.....	8
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	10
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>11</b>
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO.....	11
2.2	ÍNDICES ESPECTRAIS PARA A AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO .....	13
2.3	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO.....	16
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
3.1	SENSORIAMENTO REMOTO.....	19
3.1.1	<i>Definição e funcionamento do sensoriamento remoto.....</i>	<i>20</i>
3.1.2	<i>Resoluções das imagens de satélites.....</i>	<i>22</i>
3.1.3	<i>Bandas espectrais da radiação eletromagnética.....</i>	<i>23</i>
3.1.4	<i>Assinatura espectral do objeto e interferências em seu registro.....</i>	<i>26</i>
3.2	PROGRAMAS ESPACIAIS .....	28
3.3	FERRAMENTAS PARA O PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITES .....	34
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>36</b>
4.1	DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....	36
4.2	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES.....	39
4.3	PROCESSAMENTOS DAS IMAGENS DE SATÉLITES .....	43
4.3.1	<i>Pré-processamento das imagens das bandas de satélites .....</i>	<i>44</i>
4.3.2	<i>Criação das imagens com a combinação de bandas .....</i>	<i>47</i>
4.3.3	<i>Índices espectrais.....</i>	<i>50</i>
4.3.4	<i>Cálculo da área queimada.....</i>	<i>52</i>

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>56</b>
5.1	COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES ESPECTRAIS NDVI E NBR E A COMBINAÇÃO R(11)G(8A)G(4).....	56
5.2	HISTÓRICO COMPARATIVO DAS ÁREAS QUEIMADAS .....	59
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Pantanal consiste em uma área úmida, de aproximadamente 150 mil quilômetros quadrados, abrangendo estados do Centro-Oeste brasileiro e países como Bolívia e Paraguai. Localizado no centro da América do sul, o Pantanal se caracteriza por não ter uma fauna muito diferente dos biomas que o circundam, e sim por abrigar espécies de todos esses biomas. Ocorre, então, que o Pantanal possui mais espécies por hectare do que todos os biomas que o circundam (ALHO *et al.*, 2019). Segundo o levantamento de Pott *et al.* (2011), podem ser encontrados no bioma do Pantanal, aproximadamente, 2.000 espécies de plantas. Já no levantamento de Manoel *et al.* (2014), podem ser encontrados, aproximadamente, 1050 espécies de animais terrestres e aquáticos no bioma do Pantanal. 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 esta biodiversidade traz para a população local, seja pela sua influência na pesca comercial, seja pelo turismo trazido por ela, o que é uma fonte de renda importante para a população local. Torna-se clara a necessidade de conservação deste bioma, prezando por uma exploração biossustentável, a fim de garantir coexistência das atividades humanas com o ecossistema (ALHO *et al.*, 2019).

Paralelamente, cada vez mais, vemos a popularização de satélites em todo mundo. O número de satélites cresce ano a ano, e iniciativas como o *Starlink* da empresa *Space X*, devem aquecer ainda mais esse mercado no futuro próximo (SPACE X, 2020). A crescente quantidade de satélites em órbita, com as mais diversas funções, e cada vez com mais tecnologia de ponta, representa um enorme avanço para diversas pesquisas científicas, pois possibilitam a coleta de dados em grande escala, às vezes, até em tempo real e com resolução cada vez maiores. Dados muitas vezes inimagináveis de anos atrás, hoje estão disponíveis para qualquer um que os queira acessá-los (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Diante deste 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 as unidades de conservação do bioma despertaram a preocupação durante o período de queimadas intensas. E entre elas, a mais afetada pelas chamas foi o Parque Estadual Encontro das Águas, onde grande parte de sua extensão foi consumida pelo fogo, ameaçando a

preservação das espécies em extinção, como a arara-azul e a onça pintada (EINHORN, 2020; LEMOS, 2020; MENEGASSI, 2020b).

Diante de um cenário parecido em meados da década de 80, onde houve uma movimentação da população para preservar a Mata Atlântica, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Fundação SOS Mata Atlântica realizaram o primeiro mapeamento da Mata Atlântica com a utilização de imagens de satélites. O desenvolvimento da tecnologia espacial permitiu o aprimoramento contínuo desse estudo, assim tornou-se possível fornecer os dados a respeito da cobertura vegetal do bioma em cada município, disponibilizando os resultados para o público, através da internet (MORAES, 2002).

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

As diversas reportagens sobre das queimadas no Pantanal, em sua maioria, trazem consigo fotos e vídeos chocantes de incêndios de grandes proporções, dos prejuízos materiais, e da mortalidade descomunal de animais queimados ou desabrigados, buscando mostrar o quanto do bioma foi atingido pelo fogo. Na maioria das vezes, a melhor forma de se demonstrar o impacto para o leitor é através de dados e mapas quantificando a grandeza desse dano. No entanto para isso é necessário à realização prévia de pesquisas científicas (EINHORN, 2020; BOCUHY, 2020).

Diante desses acontecimentos, o uso de imagens de satélite para identificar e quantificar a área afetada pelos incêndios se torna fundamental. Uma vez que essas regiões não apresentam vias de fácil acesso para monitorar toda a extensão da unidade de preservação, o que ocorre com o Parque Estadual Encontro das Águas, no Mato Grosso. (MORAES, 2002).

Com a utilização do sensoriamento remoto por meio de satélite, torna-se possível realizar o monitoramento do bioma identificando os pontos de queimadas. Assim, os dados obtidos por esse tipo de trabalho podem auxiliar as gestões governamentais e entidades privadas para tomadas de decisões no combate aos incêndios, podendo ainda fornecer uma cronologia de eventos passados, o que possibilita ações preventivas para minimizar eventos futuros (ABREU; COUTINHO, 2014).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo identificar e analisar a ocorrência de incêndios, em 2020, e posteriormente comparar com o ano anterior, no Parque Estadual Encontro das Águas por meio de imagens de satélite.

### 1.2.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- identificar, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, as áreas afetadas pelas queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, em 2020 e 2019;
- comparar os índices espectrais selecionados com o propósito de verificar o mais adequado para a identificação das áreas queimadas;
- calcular o tamanho da área afetada pelas queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, em 2020 e 2019;
- comparar as imagens e dados obtidos das queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, para os anos de 2020 e 2019.

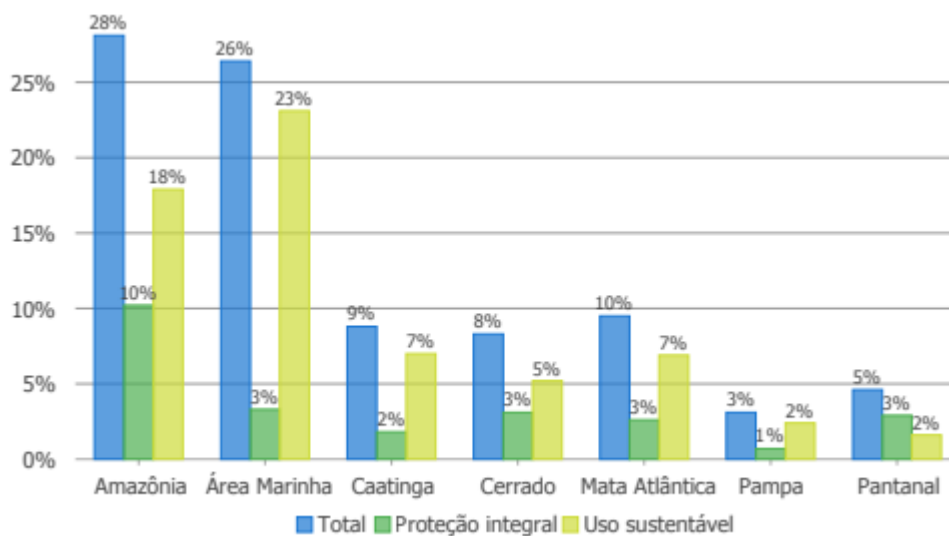
## 1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, o Pantanal é o bioma com a menor porcentagem de unidades de preservação em sua extensão. Cerca de apenas 5% de sua extensão está em áreas de proteção ambiental, e apenas 3% das áreas têm proteção integral do bioma, como mostra o Gráfico 1 (DEPARTAMENTO DE ÁREAS PROTEGIDAS, 2019).

No período de janeiro até outubro de 2020, o bioma do Pantanal teve cerca de 23% da sua totalidade consumida pelas queimadas, o que mostra um aumento, de aproximadamente, quatro vezes maior em relação ao ano anterior (BOURSCHEIT, 2020; LIBONATI *et al.*; 2020). No mês de julho de 2020, nove focos de incêndio combinados representavam 68% de toda a área queimada no estado 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 nos municípios de Poconé e Barão do Melgaço, municípios que abrigam

duas grandes áreas de reservas ambientais do bioma (SILGUEIRO; VALDIONES; BERNASCONI, 2020).

Gráfico 1 – Percentual dos biomas brasileiros protegidos por Unidade de Conservação



Fonte: Departamento de áreas protegidas (2019)

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, e 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 65% a 93% de sua área total queimada, até outubro de 2020 (RIBEIRO JÚNIOR, 2020; LACERDA, 2020, ILHÉU, 2020).

A utilização do sensoriamento remoto por satélite permite realizar estudos sem a necessidade de coleta de dados em campo. Uma das aplicações para as imagens de satélite são os índices de vegetação, no qual é possível determinar o estágio de crescimento da vegetação. Essa técnica facilita e viabiliza economicamente os estudos ambientais relacionados ao uso do solo (ABREU; COUTINHO, 2014).

A aplicação dos índices de vegetação realizada por Silva, Peres e Gurgel (2017), teve o objetivo de identificar as áreas de queimadas no município de Alto Paraíso de Goiás (a nordeste do Estado de Goiás) no ano posterior aos incêndios, buscando, através dos índices de vegetação, classificar o uso do solo após a queimada, cujo objetivo foi orientar as políticas ambientais para garantir a manutenção da biodiversidade do bioma.

Outra aplicação dos índices de vegetação realizada por Silva, Pestana e Martins (2019), buscou identificar e quantificar as áreas queimadas mensalmente, no Parque Estadual do Mirador, no Maranhão, por um longo período de tempo. Assim, foi possível identificar os meses de maior incidência das queimadas e validar alguns parâmetros relacionados com o bioma da região. Esse estudo legitimou e forneceu dados valiosos para a gestão da conservação do parque estadual.

#### 1.4 METODOLOGIA

As análises realizadas estão divididas em três etapas subsequentes. A primeira consiste na comparação dos índices espectrais 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 nas imagens dos meses de 2020 e, posteriormente, realizada 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, foi feita 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.

Para o desenvolvimento deste trabalho iniciou com a aquisição das imagens que cobriam a área do Parque Estadual Encontro das Águas, abrangendo todos os meses do ano de 2020 e o segundo semestre de 2019. Para a aquisição das imagens, foi utilizada a plataforma *Copernicus Open Access Hub* (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) da *European Space Agency* (ESA); para as imagens do programa espacial o *Sentinel-2* e o catálogo de imagens (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para aquisição das imagens do satélite *Landsat-8*.

Além das imagens de satélite, foram utilizadas imagens vetoriais com informações de localizações e delimitações da área estudada, tais como: a delimitação do Parque Estadual Encontro das Águas, limites entre os estados e municípios e a delimitação do bioma Pantanal. Essas camadas vetoriais foram obtidas através do portal de geociências (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Antes da escolha das imagens de satélites deve selecionar o programa espacial adequada para o estudo. Nessa etapa a seleção do satélite é muito importante para o sucesso do processamento e análise das imagens, para isso deve-se considerar as resoluções espaciais,



temporais e radiométricas das imagens. De modo que, a escolha incorreta da resolução espacial, por exemplo, pode gerar a omissão de dados em situações que o estudo precisa de imagens com alta resolução espacial, já em estudos de grandes áreas a escolha de imagens com alta resolução espacial o dificulta, pois aumenta o tempo de processamento e o espaço necessários para o armazenamento dos dados.

Com a escolha do satélite, foi iniciada a escolha das imagens a serem utilizadas no estudo. Na escolha das imagens, além de observar a data de captura, também se observa a qualidade da imagem, de modo, a descartar as imagens que estão cobertas por nuvens, fumaça, e qualquer outro fator que impossibilite a visualização da superfície terrestre. No entanto, em alguns casos não há nenhuma opção com a mínima qualidade para o estudo, ou o programa espacial deixa de fornecer a imagem de uma data específica, assim, à utilização de dois ou mais programas espaciais torna-se necessário para evitar a falta de imagens e não prejudicar o período do estudo.

Para o processamento das imagens de satélite, foi utilizado o *software open source* QGIS versão 3.10, que através da ferramenta “Mesclar”, permite a criação de imagens, com cor natural ou falsa-cor, através da combinação das bandas espectrais fornecidas pelos satélites e, também, permite a união de imagens de órbitas paralelas fornecendo uma única imagem para se trabalhar. Já a ferramenta “Calculadora *raster*”, permite o cálculo dos índices espectrais, gerando imagens mais elaboradas para as análises. A quantificação da área queimada foi realizada através da ferramenta “Reporta camada *raster* de valor único”, que permite o cálculo da área queimada, de maneira semiautomática, onde é fornecido uma tabela com os valores dos *pixels* e a quantificação da área para cada valor registrado. Essa tabela, juntamente, com a escala de valores do índice espectral é possível separar os *pixels* que representam a área queimada realizando a somatória dos valores.

Pelo fato do *software* QGIS ser de código aberto permite o uso de ferramentas externas (*plugin*), que buscam melhorar ou adicionar funcionalidades ao *software*. Na etapa de pré-processamento das imagens do satélite *Landsat-8* foi utilizado o *plugin Semi-Automatic Classification* (SCP) para realizar as correções atmosféricas, com o uso da metodologia *Dark Object Subtraction* (DOS). Para as imagens do programa *Sentinel-2*, não houve a necessidade de realizar as correções atmosféricas, pois a plataforma *Copernicus Open Access Hub* fornece um produto já com as correções atmosféricas. Além da utilização das ferramentas para o processamento de imagens, o *software* QGIS 3.10, também, auxiliou na criação de mapas temáticos para exemplificar a localização da área estudada, e nas imagens que auxiliam a demonstração das conclusões, através do compositor de impressão.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis seções.

A Seção 1 apresenta a Introdução, que traz informações sobre a área de estudo, o sensoriamento remoto e os acontecimentos recentes na região, composta pelos seguintes itens: texto de contextualização do tema, problema de pesquisa, justificativa e os objetivos.

A Seção 2 apresenta uma revisão de literatura sobre o sensoriamento remoto e as aplicações para a identificação de queimadas, os índices espectrais para a avaliação da vegetação e metodologias já utilizadas para a detecção de queimadas.

A Seção 3 apresenta a fundamentação teórica com os conceitos necessários para o entendimento do trabalho, como a funcionalidade do sensoriamento remoto, as bandas utilizadas e as ferramentas para o processamento das imagens de satélites.

A Seção 4 compreende os procedimentos metodológicos utilizados para a obtenção dos resultados, tais como: a definição do local de estudo, a obtenção das imagens de satélites, a criação das combinações de bandas e os índices de vegetação.

A Seção 5 apresenta as análises e discussões dos resultados.

A Seção 6 relata as conclusões do trabalho e indicará possíveis recomendações para pesquisas futuras.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Com a difusão da tecnologia e o desenvolvimento acentuado da área espacial durante o período da guerra fria, o uso do sensoriamento remoto vem ganhando relevância devido a sua aplicação na facilitação de análises de grandes áreas sem a necessidade do levantamento em campo (LIU, 2015).

Assim, diversas pesquisas científicas criaram e aperfeiçoaram as técnicas de sensoriamento remoto abrangendo, ainda mais, a sua utilização, e hoje se encontram difundidas em diversas áreas, tais como: agricultura de precisão, hidrologia, planejamento urbana, análise do uso ocupacional do solo, preservação de ecossistemas, entre outras (LIU, 2015).

A aplicação do sensoriamento remoto para a observação e análise dos recursos naturais e do ecossistema na superfície terrestre possibilita observar grandes áreas em apenas uma única imagem, fazer aplicações da energia eletromagnética para a diferenciação dos diversos espectros e coletar de dados em diferentes épocas. Essas são as vantagens imediatas do uso do sensoriamento remoto (IBRAHIN, 2016).

### 2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

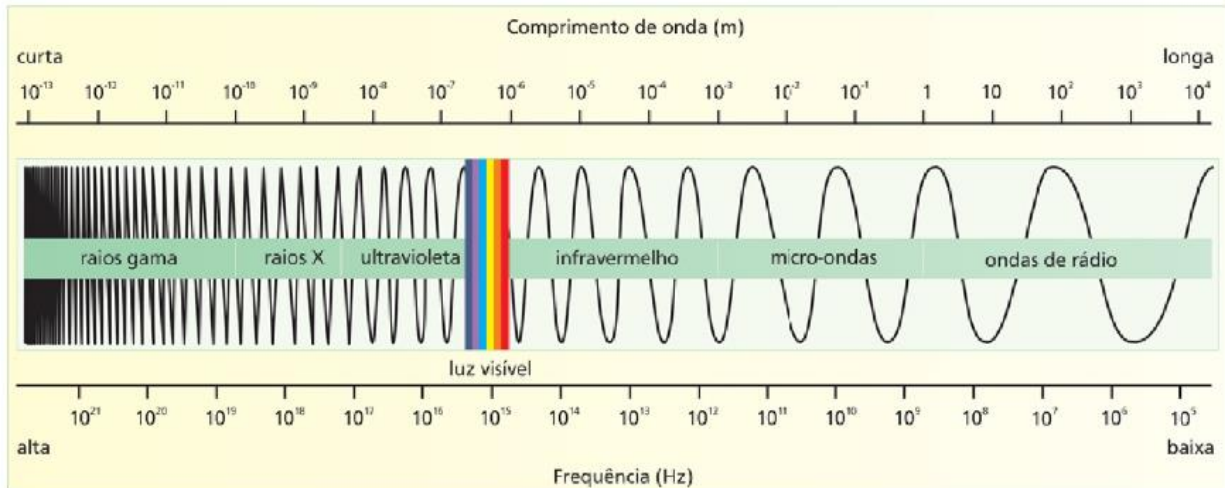
O sensoriamento remoto é definido por Florenzano (2011, p.9), como “[...] a tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.”, consistindo em uma técnica que não apresenta contato 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 o 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, onde está ordenado de forma crescente quanto a 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 azul, verde e vermelho (conjunto de bandas conhecido como RGB – *Red, Green, Blue*), 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



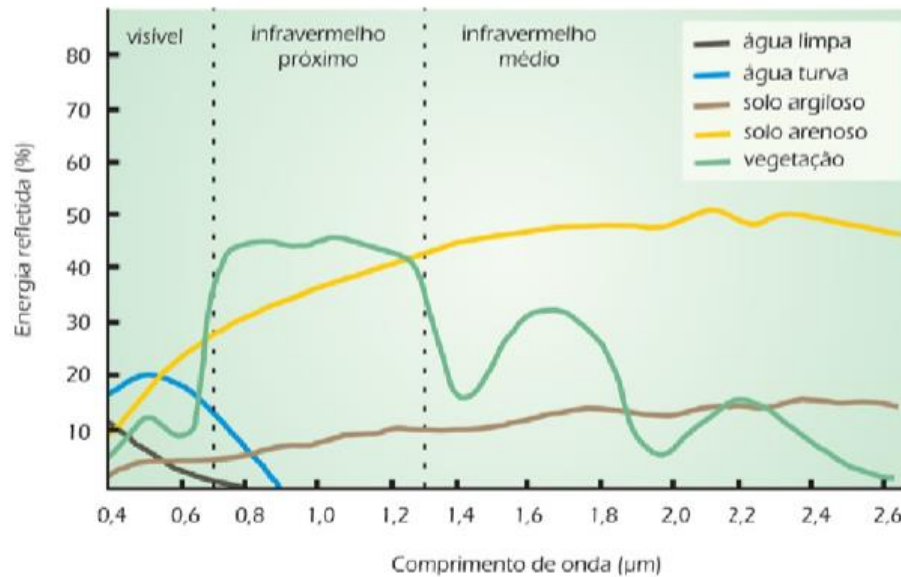
Fonte: Florenzano (2011, p.11)

Os sensores utilizados nos satélites são desenvolvidos para registrar os espectros eletromagnéticos com comprimento de onda maior que  $0,3 \mu\text{m}$ , visto que todos os espectros eletromagnéticos, cujo comprimento de onda é inferior a  $0,3 \mu\text{m}$  são absorvidos pela atmosfera. Dessa forma, os sensores de satélites podem captar a radiação eletromagnética das bandas visíveis, infravermelho e micro-ondas (LIU, 2015).

A radiação eletromagnética está presente em qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto ( $0$  graus *Kelvin*). Assim qualquer objeto na superfície terrestre pode ser detectado pelos sensores de satélites que registram as energias refletidas ou emitidas por diferentes objetos, em que cada objeto produz uma curva espectral distinta. Essas curvas são conhecidas como assinaturas espectrais (LIU, 2015).

As assinaturas espectrais permitem a identificação dos objetos, como mostrado na Figura 2, e isso possibilita que o sensor gere como produto da captação desses fluxos de energia eletromagnética uma imagem (FLORENZANO, 2011).

Figura 2 – Assinaturas espectrais da vegetação, da água e do solo.



Fonte: Florenzano (2011, p.12)

Assim, torna imprescindível o conhecimento dos espectros eletromagnéticos para a realização de análises de sensoriamento remoto, uma vez que a identificação dos corpos na superfície terrestre está baseada na reflectância da radiação solar (LIU, 2015).

A reflectância é uma proporção entre a radiância e irradiância medidas no mesmo instante e área. A radiância é a radiação refletida em uma área, diretamente para o sensor, já a irradiância é o total da radiação incidida nessa área. Desse modo, o satélite através do índice da reflectância registrada forma a imagem da superfície terrestre (LIU, 2015; MENESES; ALMEIDA, 2012). Este conceito será retomado mais detalhadamente no capítulo 3.1.

## 2.2 ÍNDICES ESPECTRAIS PARA A AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO

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 (*Red Green Blue* – RGB), quanto do espectro invisível, como infravermelho (FLORENZANO, 2011).

Para análise de vegetação, o índice mais difundido entre os pesquisadores é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1973), com o objetivo de se 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, onde os valores positivos representam a saúde da cobertura vegetação, os valores próximos do zero representam o solo sem vegetação e os valores negativos são representados pelas nuvens, águas e rochas (ROUSE *et al.*, 1973).

Essa classificação é possível, porque o NDVI aborda a refletância da clorofila e a estrutura interna da folha da vegetação, assim, quando a vegetação está saudável, apresenta uma refletância baixa das bandas visíveis e alta refletância das bandas de infravermelho, resultando em um valor positivo próximo de um (LIU, 2015; ROUSE *et al.*, 1973).

Outro índice espectral aplicado para a identificação de áreas queimadas é o *Normalized Burn Ratio* (NBR), elaborado por Key e Benson (2006) com a aplicação das bandas espectrais de infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho médio (*Mid-Wavelength Infrared* – MWIR), conforme a 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, onde os valores negativos representam a cobertura vegetal queimada, os valores próximos de zero representam os corpo d'águas e solo sem vegetação, e a 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 o caso mais comum é que NIR diminua e MWIR aumente, após o fogo. Ainda segundo Key e Benson (2006), levanta-se a hipótese que a diferença do índice NBR ( $\Delta NBR$ ) 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.

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

Conhecendo ambas as equações e sabendo que NIR possui tendência de queda e MWIR de alta após o incêndio, é claro que a tendência que o  $\Delta NBR$  seja um número negativo, porém, é importante ressaltar que certas situações podem resultar no contrário. Por exemplo, um fogo de baixa intensidade somado a vegetações pré-existentes específicas pode gerar um  $\Delta NBR$  positivo (KEY; BENSON, 2006).

Outros dois índices criados, especificamente, para identificar áreas queimadas são o *Burned Area Index* (BAI) que aplica as bandas vermelha (R) e o infravermelho próximo (NIR), calculado a partir da Equação 4, desenvolvido por Martín, Salinero e Palacios (2002), e o *Burned Area Index Adapted to Modis* (BAIM) que utiliza as bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho curto (*Short-Wavelength Infrared* – SWIR), calculado a partir da Equação 5, desenvolvida por Martín, Salinero e Gómez (2005). Além das bandas espectrais dos satélites, ambos os índices utilizam em sua formulação o valor do ponto de convergência das bandas espectrais, que consistem no cálculo da distância espectral de cada *pixel* para um ponto de referência espectral, sendo aplicados nos índices com o objetivo de enfatizar as características radioativas do carbono nas áreas queimadas, facilitando assim, a identificação dessas áreas (MARTÍN; SALINERO; PALACIOS, 2002).

$$BAI = \frac{1}{(pc_{NIR}-NIR)^2+(pc_R-R)^2} \quad (4)$$

$$BAIM = \frac{1}{(pc_{NIR}-NIR)^2+(pc_{SWIR}-SWIR)^2} \quad (5)$$

Os valores dos pontos de convergência para o BAI foram definidos a partir da literatura e a análise do conjunto de imagens de sensores do estudo de Martín e Salinero (1998), obtendo-se os valores de 0,06 e 0,1, respectivamente, os pontos de convergência do infravermelho próximo ( $pc_{NIR}$ ) e do vermelho ( $pc_R$ ). Já os valores para o BAIM, foram definidos a partir de uma amostra de 2765 pixels de imagem do sensor MODIS, que continham áreas queimadas e outros tipos de coberturas da superfície terrestre, resultando os valores de 0,05 e 0,2, respectivamente para os pontos de convergência do infravermelho próximo ( $pc_{NIR}$ ) e do infravermelho curto ( $pc_{SWIR}$ ) (MARTÍN; SALINERO; GÓMEZ, 2005).

O índice BAI foi desenvolvido a partir da análise da literatura e de um conjunto diversas de imagens com o objetivo de ser uma ferramenta para o mapeamento histórico de áreas queimadas. Assim, para validar a eficiência do índice BAI, foi realizado um estudo comparativo entre os índices BAI, NDVI, *Global Environmentak Monitoring Index* (GEMI) e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), que obteve, como resultado, a comprovação de sua eficiência na identificação e separação das áreas queimadas em relação aos outros índices, além disso, possibilitou a análise da severidade da queimada com a comparação de imagens antes e após o evento (MARTÍN; SALINERO; PALACIOS, 2002).

Com o objetivo de aperfeiçoar o índice BAI, foi elaborado o índice BAIM, onde sua utilização é específica para as imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), onde os pontos de convergências das bandas espectrais foram

calculados a partir de uma amostra de *pixels* desse sensor. Além disso, a banda espectral vermelha foi trocada para a banda do infravermelho curto, pois estudos da literatura apontaram uma maior eficiência dessa banda na separabilidade das áreas queimadas. Os resultados dessas melhorias foi um índice mais eficiente na identificação das áreas queimadas, apresentando uma ótima separabilidade dos comprometes da superfície terrestre, destacando as áreas queimadas na imagem. Porém, o índice BAIM não apresentou um bom desempenho na avaliação da severidade do evento (MARTÍN; SALINERO; GÓMEZ, 2005).

Porém, a seleção de bandas para o BAIM o torna menos suscetível a erros de identificação de áreas queimadas, evitando que coberturas naturais sejam identificadas como pontos queimados, o que normalmente ocorre com a água. O conflito dessa escolha é que o BAIM se torna um bom índice para identificar a ocorrência de queimadas, porém não para identificar a intensidade do fogo e conseqüentemente dos danos gerados (MARTÍN; SALINERO; GÓMEZ, 2005).

Comparando todos os índices, feitos por Martin, Salinero e Gómez (2005), o BAIM se mostrou mais eficiente em identificar área queimadas, especialmente, quando são utilizadas as imagens capturadas, logo após o fim do evento. E, como adiantado, o BAIM se mostrou muito mais preciso que todos os outros, não gerando resultados falso-positivos para corpos d'água, solos secos e impróprios para agricultura e, até mesmo, para alguns tipos de vegetação.

Por fim, é importante ressaltar que, há diversos fatores que podem influenciar os resultados do trabalho e, talvez, o mais importante deles seja a data de captura das imagens selecionadas para análise. Além de fatores naturais que seguem alterando o cenário após o incêndio, podem influenciar os resultados do índice. Portanto para cada localização específica é necessária uma análise cuidadosa e, talvez, a melhor opção seja analisar imagens nubladas, em vez de uma imagem limpa, que possam introduzir resultados falsos na análise final (MARTÍN; SALINERO; GÓMEZ, 2005).

### 2.3 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser aplicado em diversas áreas, tais como, meteorologia, agricultura de precisão, planejamento urbano, hidrologia, entre outras. Porém, todas essas áreas buscam utilizá-lo para um objetivo em comum, que é a obtenção de informações para diminuir o risco nas tomadas de decisões (FLORENZANO, 2011).



Uma das possíveis aplicações do sensoriamento remoto é na identificação de áreas queimadas, que visa fornecer aos órgãos públicos informações necessárias para que as decisões tomadas minimizem a ação das queimadas em determinada região. Para isso, é necessário utilizar os índices de vegetação que permitem a identificação das áreas queimadas, através das informações coletadas pelos satélites, somada à aplicação de equações matemáticas, o que torna possível a elaboração de uma escala que visa facilitar a identificação dessas áreas (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

Para a difusão e validação dos índices de vegetação na identificação das áreas queimadas, diversos trabalhos científicos foram elaborados com essa finalidade, 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, também, foi possível quantificar o dano no Parque. Assim, pôde-se fornecer à gestão do Parque dados auxiliares e comparativos para o momento e para o futuro.

O estudo desenvolvido por Rosan e Alcântara (2015) teve o objetivo de avaliar o potencial do índice de vegetação NBR com a utilização posterior do  $\Delta$ NBR, nos meses de junho e agosto de 2013. Para isso, foi escolhido o município de Cláudia, no Mato Grosso, como área de estudo, tendo em vista que o ecossistema do município vem sofrendo com o aumento das queimadas devido ao desenvolvimento da produção de soja e da pecuária. O estudo concluiu que o índice  $\Delta$ NBR apresentou um ótimo desempenho na identificação das queimadas e na classificação da severidade do evento. Além de exemplificar o grande potencial da utilização desse índice.

Segundo o estudo desenvolvido por Leite *et al.* (2017), onde os pesquisadores compararam a eficiência dos índices NDVI e NBR na identificação de queimadas, utilizando como área de estudo o Parque Nacional da Chapada Diamantina, nos limites do município de Macugê, na Bahia. No estudo comparativo, foram observados que ambos os índices conseguiram classificar as regiões afetadas pelo fogo, porém, concluiu-se que o índice NBR apresentou uma eficiência na identificação, já que mostrou as áreas queimadas com maior clareza. Além disso, foi observado que o NDVI conseguiu diferenciar as nuvens dos alvos na imagem.

O estudo realizado por Pantaleão Jr. e Ferreira (2020) utilizou as imagens do satélite *Sentinel-2A* para avaliar o desempenho do índice  $\Delta$ NBR na identificação de queimadas. O local de estudo da pesquisa é a Microrregião de Uberaba, em Minas Gerais. Com a aplicação do  $\Delta$ NBR, foi realizada a comparação da imagem gerada com a imagem colorida, a fim de

identificar os focos de queimadas e, posteriormente, com as áreas identificadas, o estudo classificou o uso do solo nessas áreas, com o objetivo de identificar as atividades ou fenômenos que levaram a ocorrência do incêndio. Assim, a pesquisa concluiu que o índice  $\Delta$ NBR apresentou uma maior eficiência na classificação da severidade da queimada, do que na identificação delas. Além de, classificar que a maioria das áreas afetadas tem como atividade os cultivos perenes e semi-perenes, como a cana-de-açúcar.

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 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. O índice BAI foi o que apresentou uma separabilidade fraca, porque misturou os pixels com áreas queimadas e não queimadas. Já os demais índices dos estudos se demonstraram inconsistentes, com boa separabilidade em alguns casos e fraca em outros.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O avanço tecnológico da área espacial contribuiu para o surgimento de diversas inovações aplicadas a diversas áreas, sendo na própria área espacial como, também, em produtos do dia a dia. Um exemplo, presente em qualquer celular atualmente é o *Global Positioning System* (GPS), desenvolvido com o objetivo de fornecer a posição, junto com a velocidade e o horário de um ponto na superfície terrestre. Com o lançamento do GPS no mercado, surgiram diversas aplicações nos campos da topografia, cartografia e navegação (BERNARDI; LANDIM, 2002; FLORENZANO, 2011).

Também, resultante das pesquisas espaciais, o aperfeiçoamento do sensoriamento remoto foi marcado pelo surgimento dos satélites artificiais. Ampliando e viabilizando diversos estudos realizados na superfície terrestre, em relação ao uso do solo, destacam-se as aplicações nas áreas: meteorológica, ambiental, agricultura e geologia (FLORENZANO, 2011).

#### 3.1 SENSORIAMENTO REMOTO

Antes do surgimento dos satélites, o sensoriamento remoto já era utilizado, inicialmente com câmeras fotográficas equipadas em balões ou aeronaves, e posteriormente com o uso de satélites artificiais, que representaram um marco para a ciência do sensoriamento remoto. Com o uso de satélites, tornou-se viável a observação de grandes áreas em uma única imagem e o registro de diferentes épocas do ano. Essas inovações possibilitaram o estudo do histórico da região, e a coleta de informações invisíveis ao olho humano, como a radiação do infravermelho (IBRAHIN, 2016).

Diante do cenário de constantes evoluções da área espacial, o monitoramento da cobertura vegetal dos biomas se tornou possível, pois foram transpostas as dificuldades das barreiras físicas em regiões inacessíveis, além disso, diversas pesquisas se tornaram economicamente viáveis. A observação das ações agressivas ao meio ambiente, como o desmatamento, queimadas, inundações e a extração ilegal de recursos naturais, através das técnicas de sensoriamento remoto, fornece informações importantes que permite a tomada de decisão nas políticas e ações de preservação (FLORENZANO, 2011; IBRAHIN, 2016).

### 3.1.1 Definição e funcionamento do sensoriamento remoto

Existem diversas definições para o sensoriamento remoto propostas por diferentes autores ao longo do desenvolvimento dessa tecnologia. Há pesquisadores que definem de maneira geral o sensoriamento remoto como a aquisição de dados sobre um determinado objeto sem o contato com ele (JENSEN, 2009). Porém, muitos pesquisadores acreditam que essa definição se torna muito ampla, uma vez que, até o olho humano obtém informações de um objeto sem que haja contato. Após um estudo das principais definições, Novo (2010, p. 26), definiu o sensoriamento remoto como:

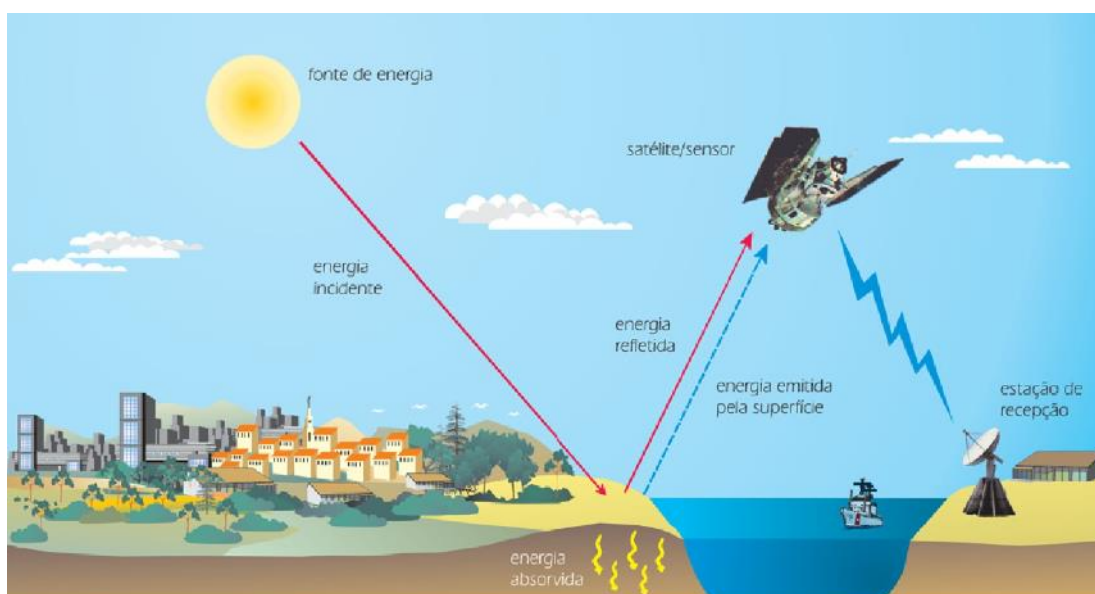
“[...] a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações. [...]”

A aquisição de imagens para uso no sensoriamento remoto é realizada através aeronaves, espaçonaves, satélites, ou qualquer outra plataforma que possibilite a captura da imagem, como descrito por Novo (2010). Dentre essas ferramentas disponíveis, a mais popular são os satélites, que possibilitam a captura de uma única imagem de grandes áreas. Esse fato se dá devido ao avanço das pesquisas espaciais durante a corrida espacial, nas décadas de 60 e 70, e avanços contínuos das pesquisas que possibilitaram cada vez mais a melhoria das resoluções das imagens, desse modo, cada vez surgem aplicações para as técnicas de sensoriamento remoto. Com a popularização do uso de satélites no sensoriamento remoto, alguns pesquisadores classificam os trabalhos provenientes desta ferramenta em sensoriamento remoto orbital (LIU, 2015; NOVO, 2010).

No sensoriamento remoto orbital, os sensores são classificados em duas classes: sensor ativo, cujo sensor gera sua própria fonte de energia, e sensor passivo, cujo sensor utiliza de uma fonte de energia externa, como na maioria dos casos o sol. Os sensores, também, podem ser classificados em imageadores, os quais apresentam uma imagem, como resultado, ou não imageadores, onde os resultados são dados, gráficos ou tabelas. Entre esses tipos de sensores os mais comuns são os sensores imageadores passivos (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A geração de uma imagem de satélite com um sensor passivo inicia-se com a captação da radiação eletromagnética emitida pelo sol e refletida pela superfície terrestre, pelo sensor instalado no satélite. Em seguida, o sensor inicia o processo de formação da imagem onde ele decompõe a radiação eletromagnética em bandas espectrais que posteriormente são convertidas eletronicamente resultando uma imagem para cada tipo de banda, assim, essas imagens estão prontas para serem transmitidas aos receptores terrestres. Com a chegada das imagens nos laboratórios, inicia-se a etapa de pré-processamento, onde são realizadas correções relativas às interferências atmosféricas, geográficas e espectrais, e após a finalização do pré-processamento as imagens são disponibilizadas para os usuários. Pode-se observar esse processo na Figura 3 (LORENZZETTI, 2015; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Figura 3 – Processo da obtenção da imagem de satélite.



Fonte: Florenzano (2011, p. 9)

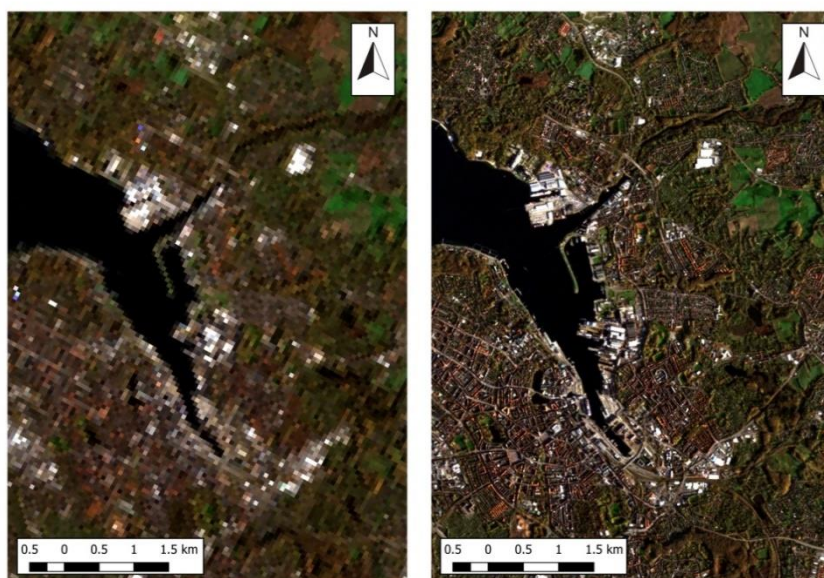
A geração de uma imagem de satélite está diretamente ligada à energia refletida pelo alvo e posteriormente captada pelo sensor, no entanto, o caminho percorrido pela energia, do alvo até o sensor, pode sofrer interferências que geram perdas dessa radiação influenciando na qualidade da imagem. Para minimizar essas interferências existem diversos métodos de cálculos para corrigi-las, aplicados no pré-processamento da imagem. A maioria deles busca se aproximar do índice de reflectância, que é a proporcionalidade entre a radiância, energia refletida pelo alvo e capturada pelo sensor, e irradiância, que é a energia total da área de estudo (FLORENZANO, 2011; MENESES; ALMEIDA, 2012).

### 3.1.2 Resoluções das imagens de satélites

Na órbita da Terra, existem diversos sensores que fornecem constantemente imagens com uma grande variedade de bandas em diversas resoluções. Desse modo, o pesquisador deve escolher o sensor que tenha resoluções adequadas para o objetivo da pesquisa. Para isso, não se pode analisar apenas a resolução espacial da imagem, mas sim todas as outras resoluções disponíveis. Para as imagens de sensores imageadores as resoluções, são: espacial, espectral, temporal e radiométrica. Cada uma dessas fornece uma escala a cada característica presente na imagem. Por isso, o pesquisador precisa definir antes da aquisição das imagens quais são as resoluções que atendem ao seu estudo, pois o resultado estará diretamente ligado a essa escolha inicial (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A resolução espacial está relacionada com a capacidade do sensor de discriminar o tamanho dos objetos. Assim, esta resolução está diretamente relacionada com a qualidade ótica da imagem e com o tamanho dos objetos detectados pelo sensor. Por exemplo, um sensor com resolução espacial de 20 metros consegue detectar objetos com essa dimensão ou dimensões maiores, pois o pixel representará uma área de 20 x 20 metros. Portanto, quanto maior a resolução menor será a área representada pelo pixel, conseqüentemente, quanto menor o pixel melhor será a representação dos objetos da superfície terrestre, como observado na Figura 4 (FLORENZANO, 2011).

Figura 4 – Comparação entre as resoluções espaciais, imagem com resolução de 60 metros (à esquerda) e imagem com resolução de 10 metros (à direita).



Fonte: Elaborado pelos autores

A resolução espectral está relacionada com a capacidade que o sensor tem em caracterizar os objetos em função da sua sensibilidade espectral, ou seja, quanto menor for a faixa espectral maior é o registro das variações da energia refletida por ele, e conseqüentemente, maior será o número de bandas registradas pelo sensor. Já a resolução radiométrica é a capacidade que o sensor tem em classificar a intensidade da energia refletida ou emitida pelo objeto, essa resulta no tamanho da escala de cinza em que a banda será gerada (FLORENZANO, 2011).

A frequência de captura de uma mesma banda pelo sensor é denominada de resolução temporal. Essa resolução permite a análise de fenômenos recorrentes em uma mesma área ou objeto, permitindo estudar a meteorologia, a dinâmica em bacias hidrográficas, o comportamento de queimadas, entre outros (FLORENZANO, 2011).

Para escolha das resoluções necessárias para um estudo é importante que as imagens utilizadas tenham as características adequadas. Por exemplo, as imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do *Landsat-5*, apresentam resoluções espectrais de sete bandas, sendo uma delas o infravermelho térmico, resolução espacial de 30 metros para as bandas comuns e 120 metros para a banda térmica e resolução temporal de 16 dias (YOUNG *et al.*, 2017). Com isso, as imagens do sensor TM, são uma boa opção para estudos ambientais da cobertura vegetal, tais como, desmatamento da vegetação e uso do solo, e estudos geológicos, como a geomorfologia dos rios, além de estudos dos recursos hídricos. No entanto, para estudos meteorológicos a resolução temporal de 16 dias não o torna viável, e sua resolução espacial não é aconselhável para estudo de safras agrícolas, onde imagens com maiores resoluções espaciais apresentam melhores resultados (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

### **3.1.3 Bandas espectrais da radiação eletromagnética**

Os diferentes comprimentos de ondas, e frequência, da radiação eletromagnética são denominados de espectro eletromagnéticos. Os sensores registram diferentes intervalos do comprimento dos espectros, e esses intervalos são chamados de bandas espectrais. As bandas mais comuns fornecidas pelos satélites são as bandas visíveis, definidas pelas cores azul, verde e vermelha, e as bandas invisíveis do infravermelho, divididas em infravermelho próximo, de ondas curtas, médio e distante ou termal. Essas bandas captadas pelos sensores imageadores são amplamente utilizadas no sensoriamento remoto para combinações entre si ou no cálculo dos índices espectrais, que buscam facilitar a visualização de um objeto ou

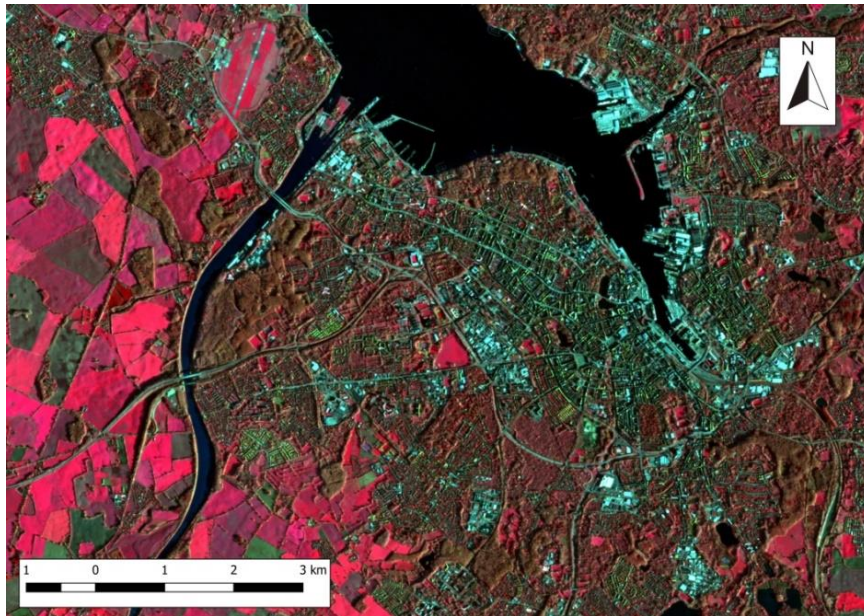
fenômeno a ser estudado. Por exemplo, a combinação colorida, em falsa-cor, com a utilização das bandas do infravermelho próximo, vermelho e verde, facilita a visualização da vegetação na imagem, pois essas bandas espectrais interagem com a clorofila e a estrutura interna da vegetação na superfície terrestre, portanto, realçando a vegetação na imagem (FLORENZANO, 2011; LORENZZETTI, 2015).

As imagens geradas pelos sensores imageadores são compostas por pixels, que registram os valores da intensidade da radiação eletromagnética refletida pela superfície terrestre. Posteriormente, esses valores são escalonados em níveis de cinza formando uma imagem monocromática, desse modo, qualquer imagem das bandas espectrais pode ter seus pixels exibidos nas mais diversas cores, viabilizando as combinações de bandas coloridas. O registro dos valores matriciais nos pixels é o que permite o processamento digital das imagens, em *softwares* especializados, que ampliam as aplicações nas mais diversas áreas (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

No sensoriamento remoto, a combinação colorida de bandas espectrais é uma técnica de realce muito utilizada para integrar e evidenciar dados ou características contidas na imagem. Essa técnica consiste na combinação de três imagens das bandas espectrais com as três cores primárias, que são o vermelho, verde e azul, mais conhecida como RGB (*Red, Green, Blue*). As combinações das bandas espectrais são classificadas quanto às bandas utilizadas, desse modo, as composições do RGB que utilizam as próprias bandas da luz visível, são denominadas de imagem colorida natural ou cor verdadeira. Já as combinações que utilizam diferentes tipos de bandas espectrais na composição do RGB, além das bandas da luz visível utilizam, também, as bandas do infravermelho, são denominadas imagens coloridas com falsa-cor, ou apenas imagem com falsa-cor. Um exemplo é a combinação com as bandas espectrais do verde, vermelho e do infravermelho próximo, utilizadas para realçar áreas urbanas na imagem, como mostra a Figura 5, as áreas urbanas estão realçadas na cor ciana. Esse tipo de combinação por não se tratar apenas do espectro visível da radiação eletromagnética recebe a classificação de imagem colorida com falsa-cor (FLORENZANO, 2011).



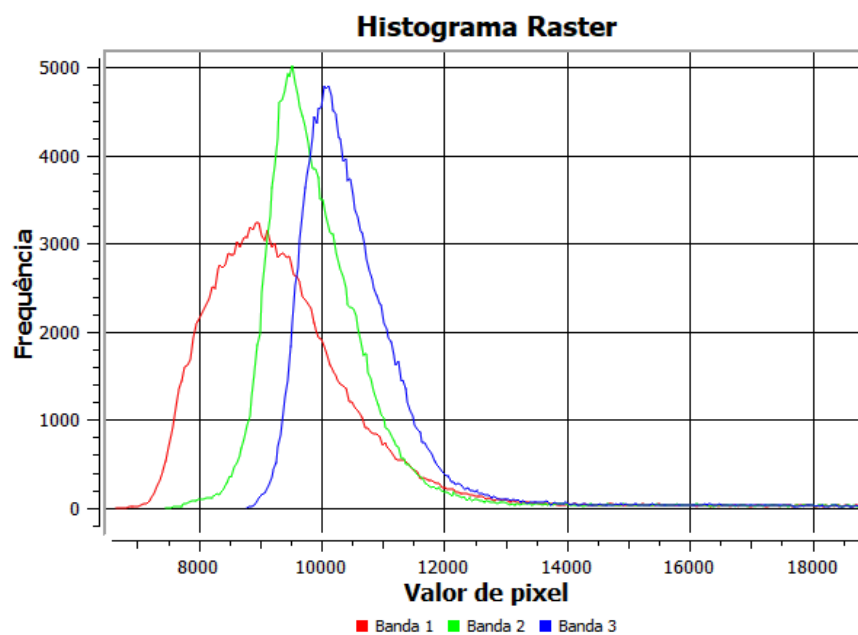
Figura 5 – Imagem da combinação de banda RGB em falsa-cor.



Fonte: Elaborado pelos autores

Todas as imagens das bandas espectrais apresentam um histograma, consiste em um gráfico que apresenta a quantidade de pixels por níveis de cinza, apresentado na Figura 6. Essa distribuição de pixels permite o pesquisador a identificar o tipo de banda que a imagem representa, também, permite a calibração do contraste das cores na combinação das bandas, conforme a necessidade do pesquisador (FITZ, 2008).

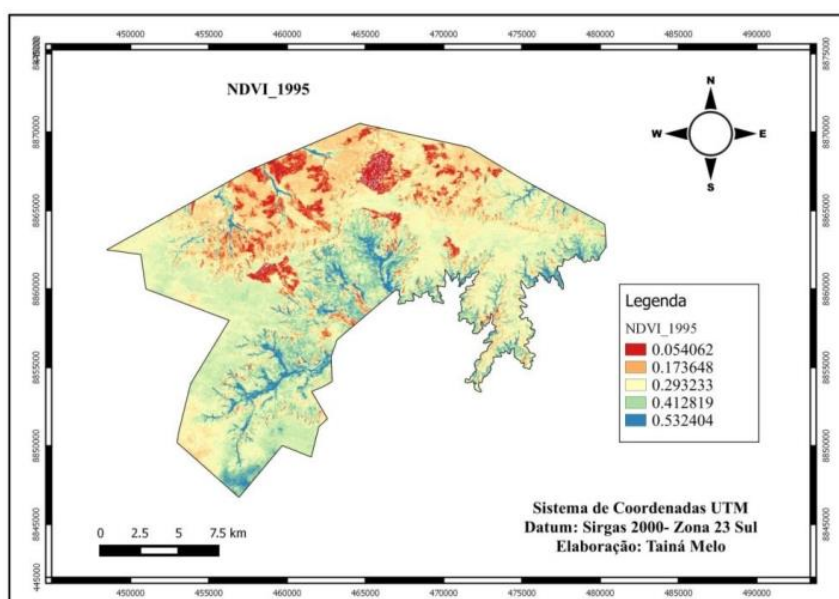
Figura 6 – Histograma de imagem de satélite.



Fonte: Elaborado pelos autores com base no QGIS (2020)

Os índices espectrais, também, são uma técnica do sensoriamento remoto para realçar aspectos específicos nas imagens de satélites. Essa técnica consiste na aplicação de uma equação matemática, executada pixel a pixel nas bandas originais, que resulta em valores matriciais distintos gerando uma nova banda, esse fato permite o realce das características desejadas. Existem diversos índices espectrais, como os índices de vegetação, de água e de minerais. Os mais conhecidos são os índices de vegetação, que são amplamente usados nos campos da agricultura, monitoramento de desmatamentos e controle de recursos naturais. Por exemplo, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), mostrado na Figura 7, muito utilizado na análise da cobertura vegetal da superfície terrestre (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Figura 7 – Imagem do índice espectral NDVI



Fonte: Melo (2017, p. 18)

### 3.1.4 Assinatura espectral do objeto e interferências em seu registro

A assinatura espectral, ou comportamento espectral, é definido como a variação da radiação eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre, devido às propriedades físico-químicas de seus diferentes componentes, como é possível observar essa variação na Figura 2, apresentada anteriormente. O uso da assinatura espectral na interpretação das imagens facilita a análise, além de permitir a automatização da análise através de rotinas de programação ou até mesmo o uso de *machine learning*. (MOREIRA, 2001; FLORENZANO, 2011).

Nas imagens geradas pelos satélites há diversos fatores que influenciam a assinatura espectral captada, são eles: o método de aquisição de dados, ligado ao tipo de sensor utilizado na coleta e processamento dos dados; condições específicas do objeto, relacionada com as características físico-químicas do objeto; condições ambientais, podendo ser fenômenos naturais, como precipitações, também, podem ser fenômenos resultantes de ações antrópicas, como a poluição; localização do alvo, diretamente relacionado com a posição do alvo em relação ao sensor; e a atmosfera, onde seus componentes interferem absorvendo, refletindo ou difundindo a radiação eletromagnética (FLORENZANO, 2011).

O efeito da atmosfera sobre a radiação eletromagnética prejudica as análises das imagens, uma vez que, os componentes da atmosfera terrestre interferem na trajetória da radiação solar a partir do sol até a superfície, e da superfície para o sensor, de modo a alterarem a direção dos raios, a distribuição dos espectros e interferirem na intensidade da radiação registrada pelo sensor. Esse tipo de interferência é decorrência dos gases e nuvens presentes na atmosfera, onde se estima que cerca de 17% da radiação solar incidente na Terra seja absorvida pela atmosfera. Além disso, as nuvens são um desafio no sensoriamento remoto, pois nas regiões cobertas por elas o registro da radiação eletromagnética pelo sensor se torna mais difícil, ocasionando na ausência de dados da superfície terrestre (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Para minimizar os efeitos da atmosfera nas imagens existem diversos métodos aplicados na fase de pré-processamento, sendo os mais comuns àqueles que utilizam das bandas do infravermelho para corrigir os efeitos. Essas bandas apresentam comprimentos de ondas maiores que a luz visível, desse modo, penetra a atmosfera de maneira mais fácil resultando em uma imagem mais próxima da verdadeira reflectância da superfície terrestre (MENESES; ALMEIDA, 2012; FLORENZANO, 2011).

A utilização da assinatura espectral para a interpretação das imagens de satélites é uma técnica muito utilizada em estudos ambientais e na agricultura, pois é crucial identificar o tipo vegetação presente na região. Essa informação é fornecida pela assinatura espectral do objeto que facilita a classificação da vegetação, a Figura 2 mostra as assinaturas espectrais para os diferentes objetos. Porém, para a utilização dessa técnica é necessário que o pesquisador defina conforme o objetivo de seu estudo, qual o sensor que melhor satisfaz seu estudo. Os programas espaciais que fornecem bandas multiespectrais, como o programa *Landsat*, são os

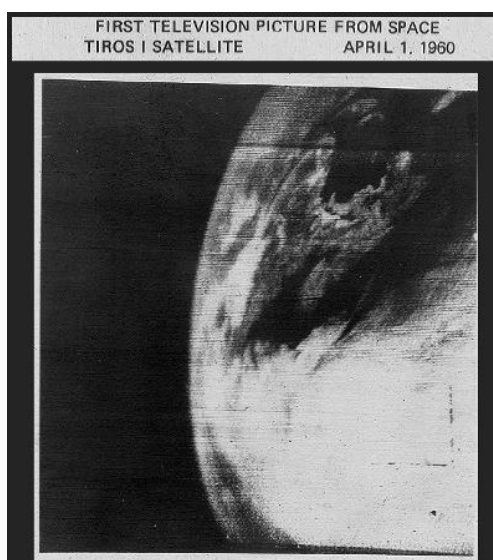
mais recomendados para esse tipo de análise, pois fornecem grande quantidade de bandas espectrais que possibilitam dados para diversos estudos (LIU, 2015).

### 3.2 PROGRAMAS ESPACIAIS

O desenvolvimento da tecnologia espacial beneficiou diversas áreas, entre elas, o sensoriamento remoto. O lançamento do satélite russo *Sputnik*, em outubro de 1957, dividiu a história do sensoriamento remoto em duas fases, sendo que antes do uso de satélites o sensoriamento remoto utilizava fotografias aéreas, como principal fonte de imagens. O *Sputnik* ficou na história como primeiro satélite artificial na órbita terrestre, porém não levava a bordo sensores ou câmeras para registro de dados, apenas antenas de transmissão de ondas de rádio (LIU, 2015).

Em janeiro de 1958, foi lançado o satélite *Explorer-1*, pelos Estados Unidos, sendo o primeiro satélite com sensores a bordo para coletas de dados, porém ainda não havia sensores que possibilitassem gerar imagens da superfície terrestre. Com a sequência do programa *Explorer* pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), obteve-se os primeiros registros bem-sucedidos da radiação solar refletida e do infravermelho, com o lançamento do satélite *Explorer-7*, em outubro de 1959. E em abril de 1960, apenas meses do primeiro registro da radiação solar, o satélite *Television and Infrared Observational Satellite* (TIROS-1) forneceu as primeiras imagens do globo e da atmosfera terrestre, mostrada na Figura 8 (LIU, 2015).

Figura 8 – Primeira imagem do globo e atmosfera terrestres registrada pelo TIROS-1



Fonte: Dumbar (c2007)

Assim, os grandes avanços das tecnologias espacial e computacional permitiu um avanço em paralelo do sensoriamento remoto. Na metade da década de 60, a NASA e o *United States Geological Survey* (USGS), iniciaram o programa *Landsat* com o objetivo de colocar em órbita satélites de sensoriamento remoto para o monitoramento dos recursos naturais. Ao longo do programa foram realizados oito lançamentos de satélites, mas o lançamento do *Landsat-6* apresentou uma falha considerando esse satélite como perdido. O programa está permanece ativo, com o lançamento do satélite *Landsat-9* programado para setembro de 2021 (FLORENZANO, 2011, EPIPHANIO, 2002; UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2019).

Em julho de 1972, foi lançado o primeiro satélite do programa, o *Landsat-1*, equipado com o sensor *Multispectral Scanner System* (MSS) que fornecia imagens em quatro bandas espectrais, sendo duas bandas da luz visível e duas bandas de infravermelho, com resoluções espaciais e temporais, respectivamente, de 80 metros e 18 dias. Esse mesmo sensor, também, foi utilizado nos *Landsat-2* e *3*, como principal fonte de dados. Os dois satélites seguintes do programa foram o *Landsat-4* e *5*, também, equipados com o sensor MSS, porém tinham a bordo o sensor *Thematic Mapper* (TM), com uma tecnologia mais avançada permitindo o registro de sete bandas espectrais e uma resolução espacial de 30 metros, e para a banda termal uma resolução de 120 metros. O *Landsat-6* foi equipado com o sensor TM e um aperfeiçoado *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), no entanto, não obteve sucesso em seu lançamento. Já o *Landsat-7*, lançado em abril de 1999, equipado com o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM<sup>+</sup>), capaz de fornecer imagens de oito bandas espectrais. O sensor ETM<sup>+</sup> permaneceu com resolução espacial de 30 metros, com exceção da banda termal com resolução de 60 metros e a banda pancromática com resolução de 15 metros (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

O lançamento mais recente é do *Landsat-8*, em fevereiro de 2013, esse equipado com dois sensores o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O sensor OLI opera com nove bandas espectrais diferentes, mantendo a resolução espacial do sensor TM do programa anterior. Já o sensor TIRS, específico para o registro de bandas termais, fornece duas bandas diferentes com resolução espacial de 100 metros. A Tabela 1 apresenta as características técnicas de todos os sensores utilizados no programa *Landsat* (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

Tabela 1 - Especificações técnicas dos sensores do programa *Landsat*

Sensor	Resolução Espectral e Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial [m]	Resolução Temporal [dias]	Satélites
RVB	(B) 0,475-0,575 (G) 0,475-0,575 (G) 0,58-0,68 (R) 0,58-0,68 (R) 0,69-0,83 (NIR) 0,69-0,83 (PAN) 0,505-0,75	80 (LANDSAT-1 e 2) 30 (LANDSAT-3)	18	LANDSAT-1 LANDSAT-2 LANDSAT-3
MSS	(G) 0,5-0,6 (R) 0,6-0,7 (NIR) 0,7-0,8 (NIR) 0,8-1,1 (THR) 10,41-12,6	57 x 79	18 (LANDSAT-1, 2 e 3) 16 (LANDSAT-4 e 5)	LANDSAT-1 LANDSAT-2 LANDSAT-3 LANDSAT-4 LANDSAT-5
TM	(B) 0,45-0,52 (G) 0,52-0,60 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,76-0,90 (MIR) 1,55-1,75 (TH) 10,4-12,5 (MIR) 2,08-2,35	30 (Multiespectral) 120 (Pancromático)	16	LANDSAT-4 LANDSAT-5
ETM	(B) 0,45-0,52 (G) 0,52-0,60 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,76-0,90 (MIR) 1,55-1,75 (TH) 10,4-12,5 (MIR) 2,08-2,35 (PAN) 0,52-0,90	15 (Pancromático) 30 (Multiespectral) 120 (Termal)	16	LANDSAT-6
ETM+	(B) 0,45-0,515 (G) 0,525-0,605 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,76-0,90 (MIR) 1,55-1,75 (TH) 10,4-12,5 (MIR) 2,09-2,35 (PAN) 0,52-0,90	15 (Pancromático) 30 (Multiespectral) 60 (Termal)	16	LANDSAT-7
OLI	(CB) 0,433-0,453 (B) 0,45-0,515 (G) 0,525-0,60 (R) 0,60-0,68 (NIR) 0,845-0,885 (MIR) 1,56-1,66 (MIR) 2,10-2,30 (PAN) 0,50-0,68 (CIRRUS) 1,36-1,39	30 (Multiespectral) 15 (Pancromático) 80 (Cirrus)	16	LANDSAT-8
TIRS	(LWIR) 10,30-11,30 (LWIR) 11,50-12,50	100	16	LANDSAT-8

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2020)

A contribuição do programa *Landsat* foi de extrema importância para o sensoriamento remoto, o que tornou o programa uma referência entre os pesquisadores por trazer imagens multiespectrais com boa resolução e disponibilizá-las em plataforma de maneira simples e gratuita. Isso permitiu o desenvolvimento e aperfeiçoamento de diversas técnicas de sensoriamento remoto (FLORENZANO, 2011).

A missão espacial *Sentinel*, desenvolvida pela a *European Space Agency* (ESA), faz parte do programa espacial *Copernicus*, cujos objetivos são a observação dos recursos naturais da superfície terrestre e marinha, o uso e ocupação da superfície terrestre e o monitoramento do clima e desastres naturais. A missão *Sentinel* é estruturada em séries de lançamentos, onde cada série apresenta um objetivo específico, sendo: a série *Sentinel-1* desenvolvida para o monitoramento terrestre e oceânico, a série *Sentinel-2* tem o objetivo de monitorar a vegetação, o solo e as áreas costeiras, a série *Sentinel-3* tem o objetivo de observar a superfície marinha, as séries *Sentinel-4* e *Sentinel-5*, foram desenvolvidas para o monitoramento da qualidade do ar, e a série *Sentinel-6*, tem o objetivo de monitorar as alturas da superfície marinha. Além dessas, há o satélite *Sentinel-5P*, lançado com o objetivo de realizar medições atmosféricas. Ressalta-se que as séries 1,2, 3 e 6, são compostas por um par de satélite (EUROPEAN SPACE AGENCY, c2021).

O primeiro lançamento da missão foi o *Sentinel-1A*, em 2014, equipado com o sensor *Synthetic Aperture Satellite* (SAR), esse sensor também foi equipado no outro satélite da serie 1, o *Sentinel-1B*. Nos satélites da série *Sentinel-2*, também, foram equipados com o sensor SAR, e ainda com o sensor *Multispectral Imager* (MSI). No lançamento da série *Sentinel-3*, os satélites foram equipados com os sensores *Ocean and Land Color Instrument* (OLCI) e o *Sea and Land Surface Temperature Radiometer* (SLSTR). Nos satélites das séries *Sentinel-4* e *Sentinel-5*, são utilizados como carga útil para satélites secundários, e na série *Sentinel-6*, foi equipado um radar altímetro para as medições das alturas. Já satélite *Sentinel-5P* foi equipado com o sensor *TROPOspheric Monitoring Instrument* (TROPOMI). As características técnicas dos sensores utilizados na missão *Sentinel*, das séries 1, 2 e 3, estão descritos na Tabela 2 (EUROPEAN SPACE AGENCY, c2021).

Tabela 2 – Especificações técnicas dos sensores da missão *Sentinel*

Sensor	Satélite	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica (bits)	Número de Bandas	Intervalo dos Espectros
SAR	<i>Sentinel-1</i> <i>Sentinel-2</i>	10	10	8	0.3 – 12 [GHz]
MSI	<i>Sentinel-2</i>	10 (Espectro visível) 20 (Infravermelho) 60 (Cirrus; Aerossol; <i>Water</i> )	12	13	442 – 2202 [nm]
OLCI	<i>Sentinel-3</i>	300	12	21	400 – 1040 [nm]
SLSTR	<i>Sentinel-3</i>	500 (VIS; SWIR) 1000 (MWIR; TIR)	14	4	555 – 12000 [nm]

Fonte: Elaborado pelos autores com base em European Space Agency (2012)

O programa espacial *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS), resultado da cooperação entre o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e a *Chinese Academy of Space Technology* (CAST), também, é voltado para satélites de sensoriamento remoto. Em outubro de 1999, o satélite CBERS-1 foi o primeiro lançamento do programa, equipado com três sensores diferentes: o *Wide Field Imager* (WFI), *High Resolution CCD Camera* (CCD) e o *Infrared Multispectral Scanner* (IRMSS). Esses sensores, também, foram utilizados no satélite CBERS-2. No CBERS-2B, os sensores WFI e CCD permaneceram, porém, o sensor IRMSS foi substituído pelo sensor o *High Resolution Camera* (HRC), as características técnicas dos sensores estão na Tabela 3 (FLORENZANO, 2011; EPIPHANIO, 2001).

Tabela 3 - Especificações técnicas dos sensores dos satélites CBERS-1, 2 e 2B

Sensor	Resolução Espectral e Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Satélites
WFI	(R) 0,63 - 0,69 (IR) 0,77 - 0,89	260	5	CBERS-1 CBERS-2 CBERS-2B
CCD	(PAN) 0,51 - 0,73 (B) 0,45 - 0,52 (G) 0,52 - 0,59 (R) 0,63 - 0,69 (NIR) 0,77 - 0,89	20	26 (Visada vertical) 3 (Visada lateral)	CBERS-1 CBERS-2 CBERS-2B
IRMSS	(PAN) 0,50 - 1,10 (SWIR) 1,55 - 1,75 (SWIR) 2,08 - 2,35 (TH) 10,40 - 12,50	80 (Multiespectral) 160 (Pancromático)	26	CBERS-1 CBERS-2
HRC	(PAN) 0,50 - 0,80	2,7	130	CBERS-2B

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (c2018)



As sequências dos lançamentos de satélites foram com os CBERS-3 e 4, onde o único sensor dos lançamentos anterior que permaneceu foi o WFI, que ganhou melhorias em sua resolução espacial e espectral. Assim, os outros três sensores instalados foram: a Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN), Câmera Multiespectral Regular (MUX) e o Imageador Multiespectral e Termal (IRS). O lançamento mais recente foi o CBERS-4A, em dezembro de 2019, com três sensores a bordo, sendo o MUX e WFI já utilizados anteriormente, onde sofreram aperfeiçoamentos para o lançamento. O novo sensor foi a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM). As especificações dos sensores utilizados nos CBERS-3, 4 e 4A estão na Tabela 4 (FLORENZANO, 2011).

Tabela 4 - Especificações técnicas dos sensores dos satélites CBERS-3, 4 e 4A

Sensor	Resolução Espectral e Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Satélites
MUX	(B) 0,45-0,52 (G) 0,52-0,59 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,77-0,89	20 (CBERS-3 e 4) 16,5 (CBERS-4A)	26 (CBERS-3 e 4) 31 (CBERS-4A)	CBERS-3 CBERS-4 CBERS-4A
WFI	(B) 0,45-0,52 (G) 0,52-0,59 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,77-0,89	64 (CBERS-3 e 4) 55 (CBERS-4A)	5	CBERS-3 CBERS-4 CBERS-4A
WPM	(PAN) 0,45-0,90 (B) 0,45-0,52 (G) 0,52-0,59 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,77-0,89	2 (Pancromático) 8 (Multiespectral)	31	CBERS-4A
PAN	(PAN) 0,51-0,85 (G) 0,52-0,59 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,77-0,89	5 (Pancromático) 10 (Multiespectral)	5	CBERS-3 CBERS-4
IRS	(PAN) 0,50-0,90 (SWIR) 1,55-1,75 (SWIR) 2,08-2,35 (TH) 10,40-12,50	40 (Pancromático e Infravermelho) 80 (Termal)	26	CBERS-3 CBERS-4

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (c2018)

O monitoramento dos recursos naturais se tornou dependente das técnicas de sensoriamento remoto a medida do avanço das tecnologias espaciais. Desse modo, o INPE desenvolveu o primeiro satélite projetado, construído e testado em solo brasileiro, denominado Amazonia-1, ou Satélite de Sensoriamento Remoto 1 (SSR-1), tem como objetivo fornecer imagens da superfície terrestre, de modo, a auxiliar no monitoramento do desmatamento, em especial a região Amazônica, também, busca auxiliar no monitoramento

da agricultura em todo território nacional. O lançamento do Amazonia-1 ocorreu em 28 de fevereiro de 2021, através do Centro Espacial de *Satish Dhawan*, na Índia. Além desse primeiro lançamento a missão espacial Amazonia prevê outros dois lançamentos de satélites ainda em construção, são eles: o Amazonia-1B e o Amazonia-2. Assim, passada a fase de testes e qualificação das imagens do Amazonia-1, o INPE, disponibilizará seus produtos para os órgãos governamentais, cientistas e a plataforma de acesso público (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2021a).

O satélite Amazonia-1 está equipado com um sensor imageador óptico que apresenta resolução espacial de 60 metros, e resolução espectral de três bandas do espectro visível, correspondentes bandas das cores vermelho, verde e azul, e uma banda do espectro invisível, correspondente a banda do infravermelho próximo. O satélite, também, apresenta uma alta resolução temporal com uma revisita de 5 dias, permitindo uma análise de dados mais frequente (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2021b).

Para receber as imagens dos programas espaciais *Landsat*, *CBERS* e de outros programas ativos, o INPE tem a Estação de Recepção e Gravação, em Cuiabá no Mato Grosso, tem grande importância para o Brasil e seus países vizinhos, pois viabilizam os mais diversos estudos de sensoriamento remoto, através da disponibilização de maneira fácil e gratuita as imagens de satélites fontes desses estudos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2013).

### 3.3 FERRAMENTAS PARA O PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITES

No sensoriamento remoto, os *softwares* utilizados para o processamento e as análises das imagens de satélites são denominados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ou a sigla em inglês GIS (*Geographic Information System*), também, amplamente utilizado nas áreas de geoprocessamento, cartografia e outras geociências (MOREIRA, 2001).

Os *softwares* SIG fornecem ferramentas computacionais com o objetivo de integrar diversas informações fornecendo um produto geográfico. Esses softwares apresentam uma estrutura principal de quatro módulos, sendo: aquisição e edição de dados; gerenciamento de bancos de dados; análise geográfica de dados; e representação dos dados. (FITZ, 2008; LÖBLER *et al.*, 2019).

As principais ferramentas de software SIG são o gerenciamento de bancos de dados espaciais, modelos matemáticos para o processamento de dados e sistemas de coordenadas. A estrutura dos dados nesse sistema é dividida em dois tipos: vetorial e matricial. A estrutura vetorial é composta por pontos, linhas e/ou polígonos, e utilizam um sistema de coordenadas geográficas para a sua representação. Já a estrutura matricial tem como principal fonte de informação, uma imagem *raster*, que consiste em organizar as informações contidas na imagem em uma matriz, onde cada célula representa um pixel da imagem (FITZ, 2008; LÖBLER *et al.*, 2019).

Uma definição resumida do SIG é dada por Löbner *et al.* (2019, p. 178) como sendo “um sistema computacional com ferramentas desenvolvidas para armazenar, processar, editar e gerar informações gráficas e não gráficas associadas a dados espaciais, com o propósito de integrar várias informações a partir de um produto final geográfico”. Com essa capacidade de armazenar e processar diversos tipos de informações, e permitindo as interações das estruturas vetoriais e matriciais, o sistema SIG se tornou uma excelente ferramenta para os estudos da geociência.

No mercado de *softwares* SIG há diversas opções, dentre elas, o QGIS se destaca por ser um software gratuito de código aberto (*open source*), programado na linguagem *Python*. Desse modo, a sua atualização, correções e desenvolvimento é realizada por uma rede de colaboradores voluntários, que acompanham a evolução das tecnologias no mercado. Além disso, o QGIS permite que diversos pesquisadores criem ferramentas externas (*plugin*), de maneira, a complementar, melhorar, ou testar as rotinas de processamentos tornando-as mais eficientes (BRUNO, 2017).

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

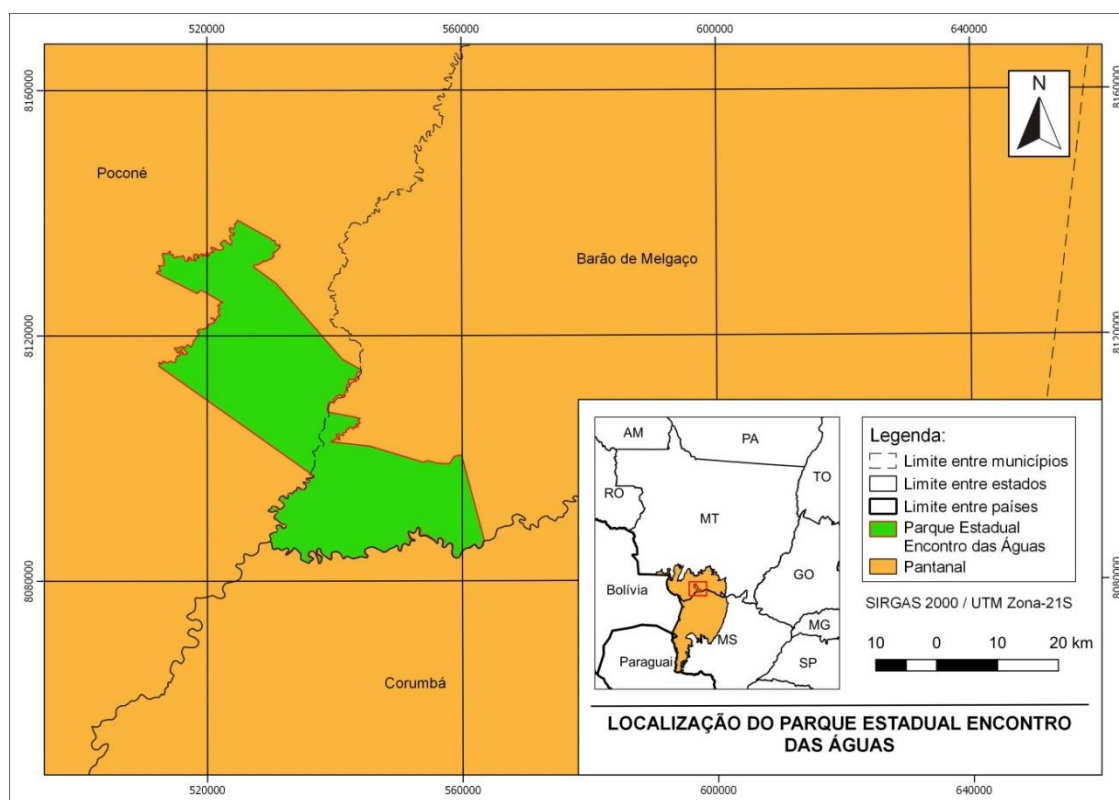
Neste capítulo estão descritos os procedimentos utilizados para o processamento das imagens de satélites, tais como as ferramentas e critérios utilizados ao longo do desenvolvimento do estudo. Foi utilizado para o processamento das imagens o *software* QGIS versão 3.10, já para a aquisição das imagens de satélites foram utilizados o catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a plataforma *Copernicus Open Access Hub* da *European Space Agency* (ESA). Também, foi utilizado o portal de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para os dados referentes Parque Estadual Encontro das Águas, tais como, informações referentes as suas características geográficas, hidrografia, clima e bioma.

### 4.1 DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Parque Estadual Encontro das Águas, localizado entre os municípios de Poconé e Barão de Melgaço, no Mato Grosso. Criado em 2004 pelo decreto 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, aproximado, de 300 quilômetros, o Parque encontra-se dividido entre os municípios de Poconé e Barão de Melgaço, onde sua área está dividida, respectivamente, em 43,3% e 56,7% da área total para cada município, como apresentado pelo Mapa 1 (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, c2020).

Por estar localizado no bioma do Pantanal Mato-grossense, no Centro-Oeste do Brasil, o parque se encontra em uma zona de clima tropical, caracterizada por sua temperatura quente com média acima de 18 °C, em todos os meses do ano. Também, está localizado próximo a divisão das zonas de umidades semiúmida e úmida, porém pertence integralmente à zona semiúmida, apresentando um período de seca de 4 a 5 meses do ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTISTICA, 2010).

Mapa 1 – Localização do Parque Estadual Encontro das Águas



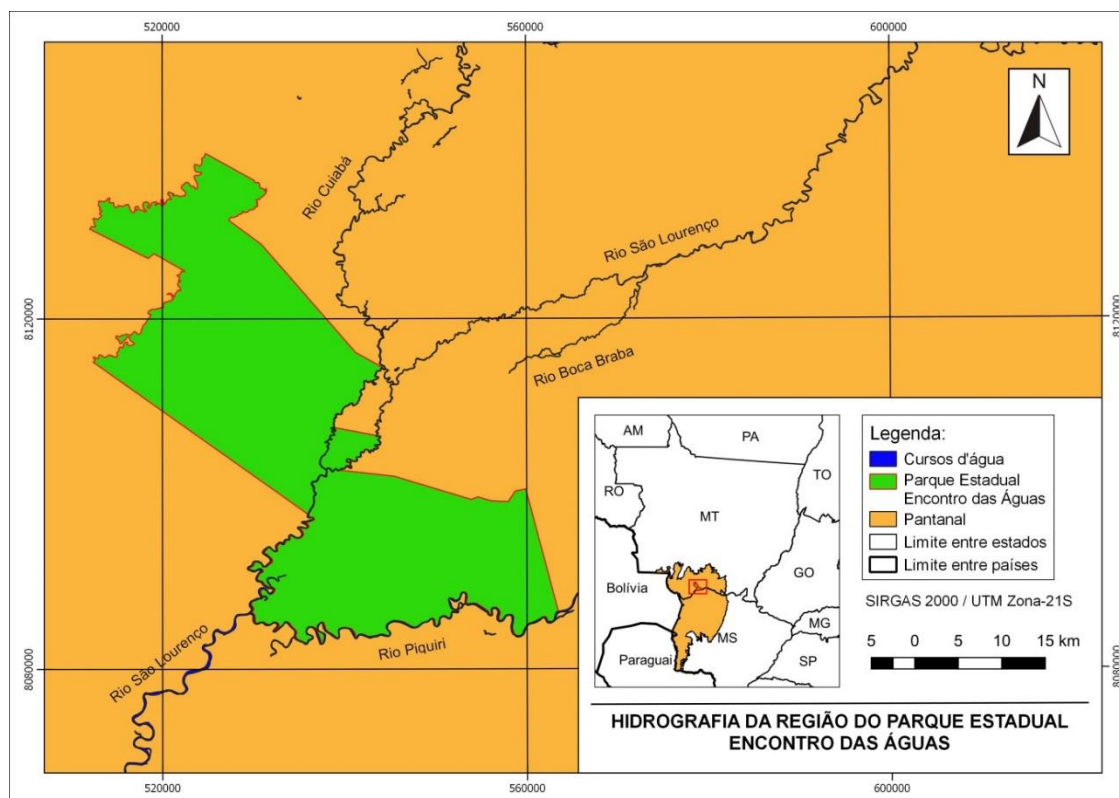
Fonte: Elaborado pelos autores

O parque apresenta uma hidrografia rica, sendo cortado por três rios. Seu nome se justifica pelo fato de ocorrerem duas confluências dentro de seus limites, são elas: a confluência do rio Cuiabá com o rio São Lourenço ao nordeste do parque, e a confluência do rio Piquiri com o rio São Lourenço ao sudoeste do parque, como mostra o Mapa 2. A importância hidrográfica do parque, também é dada pela sua influência em quatro bacias hidrográficas ao seu redor, são elas: Cuiabá, Itiquira, Paraguai Médio e São Lourenço (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

O bioma do Pantanal apresenta uma grande biodiversidade de fauna e flora, com um total de 1.250 espécies, em sua fauna, e 155 espécies, em sua flora, de acordo com o levantamento de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2014. A biodiversidade no Pantanal é resultado do ambiente proporcionado para a fauna durante o período de seca dos biomas ao seu entorno. Isso ocorre, pois o bioma é caracterizado pelas suas grandes planícies de inundações constantes servindo como área de refúgio. O Parque Estadual Encontro das Águas, por fazer parte integralmente, é de extrema importância para a conservação de sua fauna proporcionando um local de refúgio dentro do bioma para as mais diversas espécies, dentre elas destaca-se a onça pintada, onde o parque é conhecido por

abrigar uma grande população (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020; MENEGASSI, 2020a).

Mapa 2 – Hidrografia do Parque Estadual Encontro das Águas



Fonte: Elaborado pelos autores

Uma das características do bioma do Pantanal é seu histórico de queimadas, normalmente, decorrente de duas possíveis origens, sendo a primeira o surgimento de focos de incêndio maneira espontânea durante o período de seca, e a segunda é a queimada em decorrência do processo da agropecuária. Assim, para garantir a preservação do bioma, foram criadas políticas públicas que buscam conscientizar o método das queimadas controladas entre os produtores rurais, além da criação de programas de incentivo ao ecoturismo e conscientização da preservação do bioma e programas de organizações não governamentais, como o SOS Pantanal e o Instituto Centro de Vida (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, c2020).

No ano de 2020, as queimadas no Pantanal atingiram proporções inéditas, o que levantou preocupações com a sua recuperação. Ao longo do ano, diversas reportagens noticiaram as dimensões das queimadas e suas consequências, dentre elas a reportagem, de Pereira (2020), comparou os dados divulgados pelo Prevfogo e pelo INPE a respeito da área afetada pelo fogo, e os comparou com o tamanho de cidades brasileiras, como por exemplo, as cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro. As unidades de preservação, também, foram

atingidas pela queimada, dentre elas destacou-se o Parque Estadual Encontro das Águas, que apresenta grande importância na preservação de espécies ameaçada de extinções, como por exemplo, a onça pintada. De acordo com a reportagem de Menegassi (2020a), até o mês de setembro o Parque já havia perdido mais que 80% de sua área, afetando toda a fauna existente no Parque.

#### 4.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES

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

Desse modo, foram estabelecidos os critérios mínimos para cada resolução, sendo espacial, temporal e radiométrica, que o satélite escolhido deveria atender. O primeiro critério observado foi à resolução espacial estabelecida na faixa, entre 10 e 40 metros, onde o intervalo foi definido com base no tamanho da área de estudo, de aproximadamente 101.131 hectares. O segundo critério observado foi à resolução temporal do satélite estabelecido o valor máximo de 31 dias para revisita, valor estabelecido com base no período de estudo definido como mensalmente. O terceiro critério analisado foi à resolução espectral, onde o satélite deve apresentar as bandas espectrais correspondentes aos índices espectrais e as combinações de bandas utilizadas no estudo, sendo as bandas visíveis, o infravermelho próximo e o infravermelho médio. Assim, para a comparação das resoluções, entre os satélites dos programas desejados, foi montada a Tabela 5, que apresenta as características dos satélites *Landsat-8*, *Sentinel-2* e *CBERS-4*, em suas três principais resoluções, conforme os critérios adotados (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, c2020).

Tabela 5 – Comparação das resoluções entre os satélites *Landsat-8*, *Sentinel-2* e *CBERS-4*

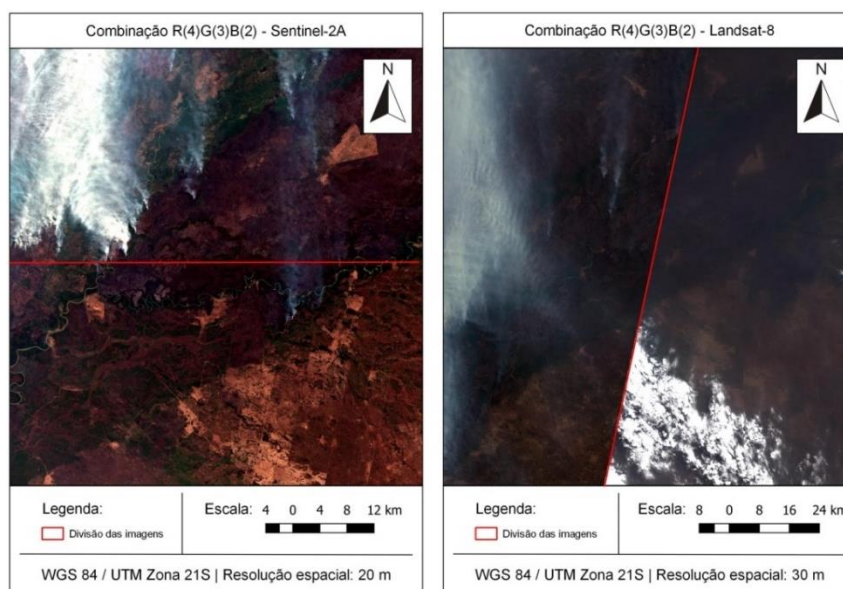
Satélite	Sensor	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Resolução Espectral e Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )
Sentinel-2 (A/B)	MSI	20	5	(B) 0,49 (G) 0,56 (R) 0,67 (NIR) 0,87 (SWIR1) 1,61 (SWIR2) 2,19
Landsat-8	OLI	30	16	(B) 0,45-0,52 (G) 0,50-0,60 (R) 0,63-0,69 (NIR) 0,76-0,90 (MIR) 1,55-1,75 (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: Elaborado pelos autores com base em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (c2018)

Com base nos critérios estabelecidos e as informações levantadas na Tabela 5, o satélite *CBERS-4* foi descartado por não apresentar a banda espectral do infravermelho médio (2,11-2,29  $\mu\text{m}$ ). 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 à 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 necessidade de se utilizar duas imagens que se completam. Nos satélites da série *Sentinel-2*, essa união ocorre com imagens no mesmo instante, ou seja, do 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, como mostrado na comparação entre os dois satélites, na Figura 9. 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 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, c2018).



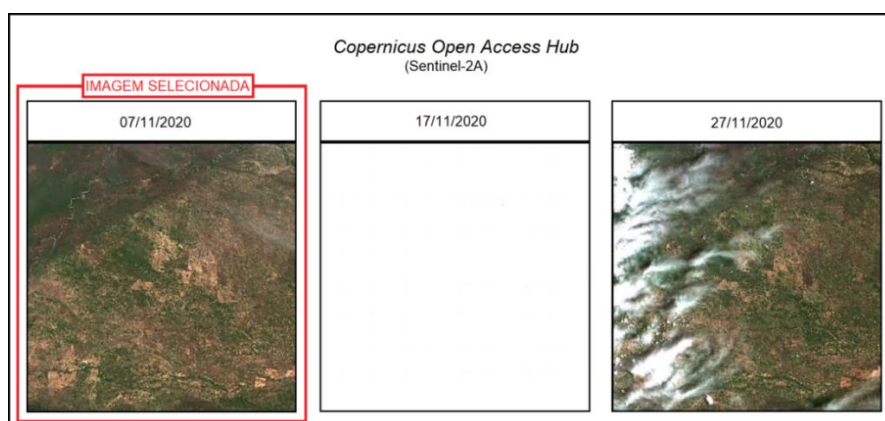
Figura 9 – Comparação da qualidade da união das imagens do *Landsat-8*, e do *Sentinel-2A*



Fonte: Elaborado pelos autores

A seleção das imagens de satélites a serem utilizadas no estudo consiste na escolha das imagens que apresentam menores interferências atmosféricas, ou seja, nuvens, fumaças ou outros tipos de gases que possam cobrir a superfície terrestre. Desse modo, foi selecionado as imagens com maior qualidade disponível na plataforma. Esse processo de seleção é demonstrado na Figura 10, que mostra a comparação das imagens disponíveis para o estudo, do mês de novembro de 2020, adquiridas através da plataforma *Copernicus Open Access Hub*, da ESA. Assim, foi verificado que as imagens de 07 de novembro, apresentam uma melhor qualidade, por apresentar poucas coberturas atmosféricas, em relação com as imagens do dia 17 de novembro, que está completamente coberta por nuvens, e a do dia 21 de novembro, que apresenta nuvens com alta densidade no lado esquerdo da imagem.

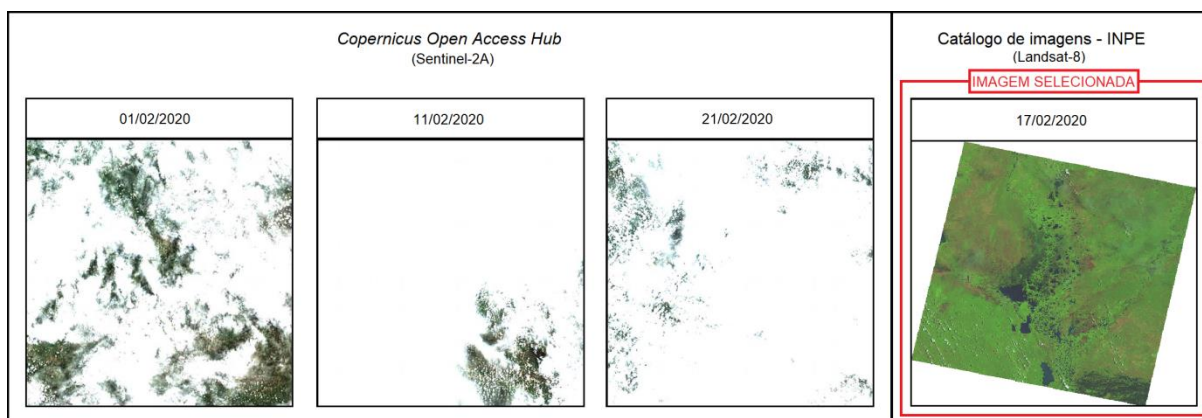
Figura 10 – Comparação das imagens disponíveis do mês de novembro de 2020, do *Sentinel-2A* na plataforma *Copernicus Open Access Hub*



Fonte: Elaborado pelos autores

Durante a seleção das imagens, em alguns meses não foi possível selecionar nenhuma das imagens disponíveis na plataforma *Copernicus Open Access Hub*, da ESA, pois as opções apresentavam interferências atmosféricas muito alta inviabilizando o uso da imagem no estudo. Neste caso, para evitar a falta de dados foi procurado imagens de um satélite com características semelhantes. Como foi comparado anteriormente, o satélite *Landsat-8*, apresenta resoluções que atendam o objetivo desse estudo, porém as uniões de suas imagens formam uma quebra visual de continuidade, mas isso não inviabiliza seu uso. Sendo assim, na ausência das imagens do satélite principal, o *Sentinel-2*, foi então utilizado as imagens do *Landsat-8* evitando, assim a falta de dados. A Figura 11 mostra as opções disponíveis em ambas os satélites para o mês de fevereiro de 2020, nessa escolha optou-se pela imagem do satélite *Landsat-8*, pois todas as opções do *Sentinel-2* apresentaram alta interferência atmosférica, dificultando a visualização da superfície terrestre.

Figura 11 – Comparação das imagens disponíveis do mês de fevereiro de 2020, do *Sentinel-2A*, na plataforma *Copernicus Open Access Hub*, e do *Landsat-8*, no catálogo de imagens do INPE



Fonte: Elaborado pelos autores

Para a aquisição das imagens foi utilizada, os critérios descritos anteriormente, a plataforma *Copernicus Open Access Hub* (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) da ESA, para aquisição das imagens da missão espacial *Sentinel-2*, composta pelos satélites *Sentinel-2A* e *Sentinel-2B* e, o catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>), para a aquisição das imagens do *Landsat-8*. Ambas as plataformas fornecem imagens de diversos programas espaciais, além do *Sentinel-2* e do *Landsat-8*, de maneira gratuita, rápida e sem a necessidade de requisição prévia, precisando apenas da realização do cadastro no site. No Quadro 1, estão descritas as imagens selecionadas para cada mês desse estudo.

Quadro 1 – Imagens dos satélites *Sentinel-2* e *Landsat-8*, adquiridas para o estudo

Ano (Estudo)	Mês (Estudo)	Satélite	Sensor	Localização	Data das imagens	Horário das imagens
2020	Janeiro	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	12/01/2020	13:56
				T21KWB	12/01/2020	13:56
	Fevereiro	<i>Landsat-8</i>	OLI	226-072	26/02/2020	13:46
				227-072	17/02/2020	13:52
	Março	<i>Landsat-8</i>	OLI	226-072	13/03/2020	13:45
				227-072	04/03/2020	13:52
	Abril	<i>Landsat-8</i>	OLI	226-072	30/04/2020	13:45
				227-072	21/04/2020	13:51
	Maio	<i>Landsat-8</i>	OLI	226-072	16/05/2020	13:45
				227-072	07/05/2020	13:51
	Junho	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	30/06/2020	14:01
				T21KWB	30/06/2020	14:01
	Julho	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	30/07/2020	14:01
				T21KWB	30/07/2020	14:01
	Agosto	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	29/08/2020	14:01
				T21KWB	29/08/2020	14:01
	Setembro	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	08/09/2020	14:01
				T21KWB	08/09/2020	14:01
Outubro	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	18/10/2020	14:01	
			T21KWB	18/10/2020	14:01	
Novembro	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	07/11/2020	14:01	
			T21KWB	07/11/2020	14:01	
Dezembro	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	17/12/2020	14:00	
			T21KWB	17/12/2020	14:00	
2019	Julho	<i>Sentinel-2B</i>	MSI	T21KWA	31/07/2019	14:01
				T21KWB	31/07/2019	14:01
	Agosto	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	15/08/2019	14:01
				T21KWB	15/08/2019	14:01
	Setembro	<i>Sentinel-2B</i>	MSI	T21KWA	24/09/2019	14:00
				T21KWB	24/09/2019	14:00
	Outubro	<i>Sentinel-2A</i>	MSI	T21KWA	24/10/2019	14:01
				T21KWB	24/10/2019	14:01
	Novembro	<i>Landsat-8</i>	OLI	226-072	22/11/2019	16:47
				227-072	29/11/2019	17:37
Dezembro	<i>Sentinel-2B</i>	MSI	T21KWA	28/12/2019	14:00	
			T21KWB	28/12/2019	14:00	

Fonte: Elaborado pelos autores

#### 4.3 PROCESSAMENTOS DAS IMAGENS DE SATÉLITES

No processamento das imagens de satélites, foi utilizado o software QGIS na versão 3.10, desenvolvido por colaboradores voluntários da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), também, responsáveis pelas suas atualizações. Isso caracteriza o *software* como *open source*, ou seja, apresenta seu código fonte aberto, além disso, sua disponibilização é gratuita. Outra característica dos *softwares* de código aberto é a criação, por terceiros, de

diversas ferramentas externas, que busca auxiliar ou complementar as funções do *software*. O *plugin Semi-Automatic Classification (SCP)* versão 7.0.0.1, desenvolvido por Congedo (2020), é utilizado dentro do *software QGIS*, possui diversas ferramentas que facilitam as etapas de processamento e pré-processamento das imagens de satélites. Neste estudo, o *plugin SCP* foi utilizado para facilitar a realização das correções atmosféricas na etapa de pré-processamento das imagens de satélites.

#### **4.3.1 Pré-processamento das imagens das bandas de satélites**

A etapa de pré-processamento, normalmente, é a primeira a ser realizada após a aquisição das imagens. Nessa etapa, a principal correção a ser realizada é a correção atmosférica, que pode ser dividida em duas conversões principais subsequentes. A primeira conversão, normalmente já é realizada pelas plataformas que disponibilizam as imagens, consiste na aplicação de algoritmos, em cada *pixel* da imagem da banda espectral, que converte o valor da radiância registrado pelos sensores para o valor da reflectância no topo da atmosfera. Já a segunda conversão é a utilização de algoritmos, ou métodos, para converter os valores da reflectância no topo da atmosfera para o valor da reflectância no fundo da atmosfera, ou seja, na superfície terrestre.

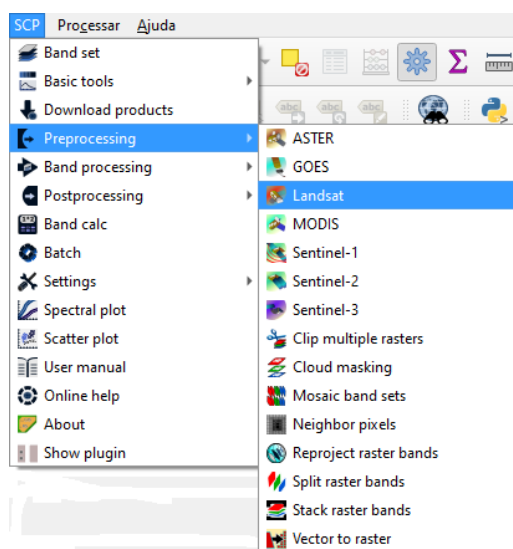
As imagens adquiridas do *Sentinel-2A* e do *Sentinel-2B*, através da plataforma *Copernicus Open Access Hub*, são disponibilizadas em dois níveis de correções atmosféricas, sendo que no primeiro nível, o 1C, é aplicado um algoritmo que corrige os valores da radiância registrados pelo sensor em valores da reflectância no topo da atmosfera. Para isso utilizam-se os registros multiespectrais, além de corrigirem 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), onde o algoritmo utiliza como base o nível 1C aplicando a correção dos valores da reflectância no topo da atmosfera para valores da reflectância no fundo da atmosfera. Neste estudo, as imagens adquiridas da missão *Sentinel-2* são do nível de correção 2A, sem a necessidade de se realizar qualquer correção 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, onde 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 Semi-*

*Automatic Classification* (SCP) no software QGIS versão 3.10, que apresenta diversas ferramentas para o pré-processamento, o processamento e a aquisição de imagens de satélites. No *plugin*, a ferramenta de correção atmosférica utiliza a método *Dark Object Subtraction* (DOS), desenvolvida por Chávez 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 (CONGEDO, 2020).

Depois de o *plugin* SCP ser instalado é criado, na barra de ferramentas do *software* QGIS, uma aba com o nome do *plugin*, a qual é utilizada para acessar as ferramentas disponíveis. Através dessa aba é possível acessar a ferramenta “*Preprocessing*”, que exibe a lista de programas espaciais, ou satélites, disponíveis para a realização da correção atmosférica, como mostra a Figura 12.

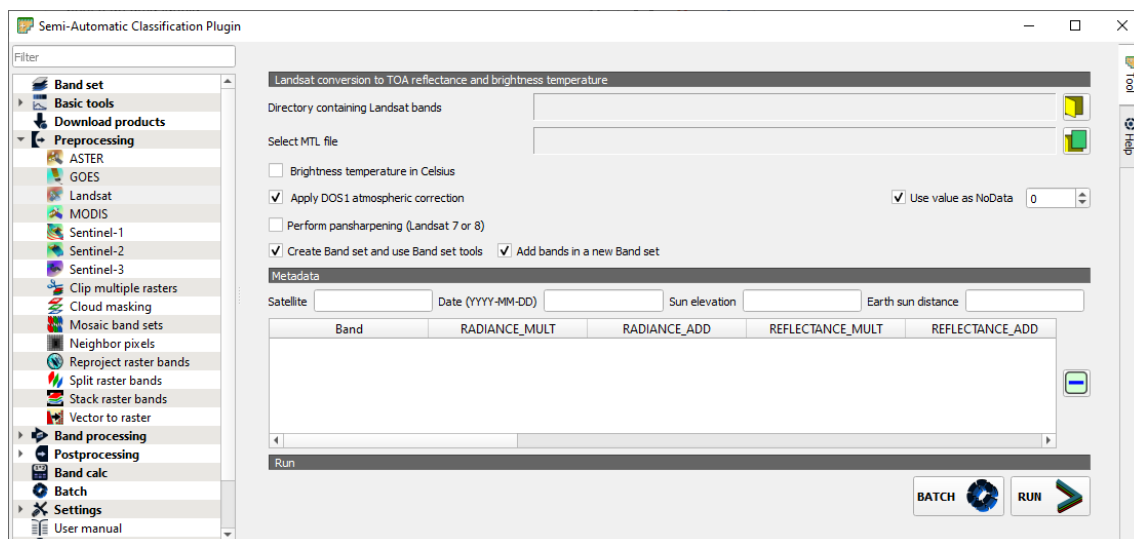
Figura 12 – Lista de satélites que o *plugin* SCP realiza a correção atmosférica



Fonte: Elaborado pelos autores

Com a seleção da opção do programa espacial, neste estudo foi utilizado o programa espacial *Landsat*, a janela da ferramenta é aberta, mostrada na Figura 13. A ferramenta precisa de dois arquivos para a sua execução, são eles: a pasta em que as imagens das bandas estão armazenadas, e o arquivo com os parâmetros referentes das imagens das bandas. Para realizar a correção atmosférica através do método DOS é preciso selecionar a opção “*Apply DOS1 atmospheric correction*”. Assim, com todas as entradas de dados o resultado do processamento são as imagens das bandas corrigidas para os valores de reflectância no fundo da atmosfera, para este estudo as imagens corrigidas do *Landsat-8*.

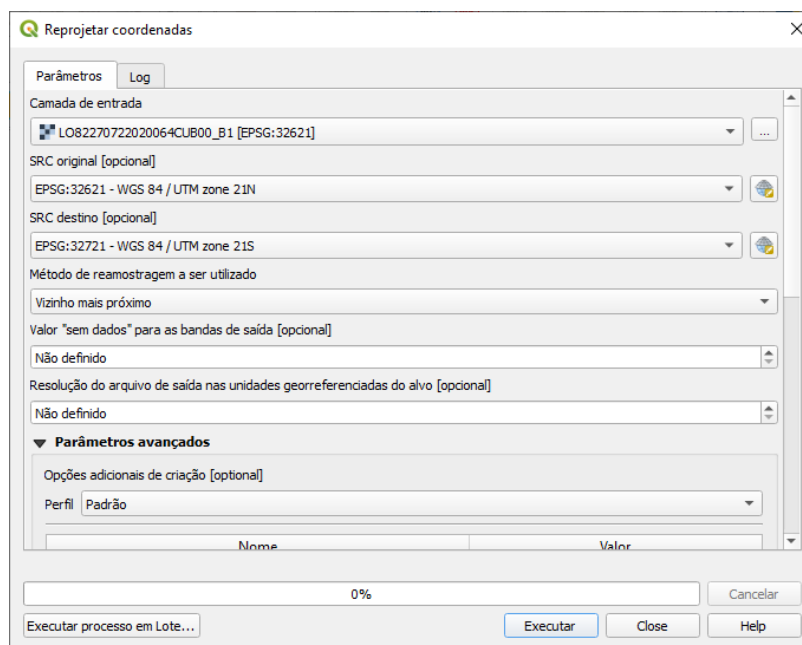
Figura 13 – Interface da ferramenta de correção atmosférica do *plugin* SCP para as imagens do *Landsat-8*



Fonte: QGIS (2020)

Após a realização das correções atmosféricas necessárias, foi realizada a preparação das imagens para o início do processamento. Essa preparação consiste na aplicação de duas ferramentas, sendo a primeira a ferramenta “mesclar”, localizada no menu “*raster*” e categoria “miscelânea”, e a segunda a ferramenta “reprojetar coordenadas”, localizada no menu “*raster*” e categoria “projeções”. A ferramenta “mesclar” apresenta diversas funções, uma delas é a união de uma ou mais imagens de satélites em apenas uma única imagem. Desse modo, devido à necessidade do uso de duas imagens para cobrir a área de estudo, a ferramenta foi utilizada para unir os pares de imagens gerando em uma única imagem, o que facilita os processamentos futuros. Já a ferramenta “reprojetar coordenadas”, foi aplicada apenas nas imagens do satélite *Landsat-8*, devido ao fato das imagens adquiridas no catálogo do INPE, utilizarem o sistema de coordenadas WGS-84/UTM zona 21N (32621), porém a localização verdadeira da imagem é no hemisfério sul, portanto é necessário realizar a reprojeção das imagens para o sistema correto, que é o WGS-84/UTM zona 21S (32721). Na interface da ferramenta, mostrada na Figura 14, a entrada de dados consiste na seleção da imagem a ser reprojetada, o sistema de coordenadas original e o sistema de coordenadas de destino, e a partir desses dados o programa gera uma imagem no sistema de coordenadas desejado.

Figura 14 – Interface da ferramenta da “reprojetar coordenadas”



Fonte: QGIS (2020)

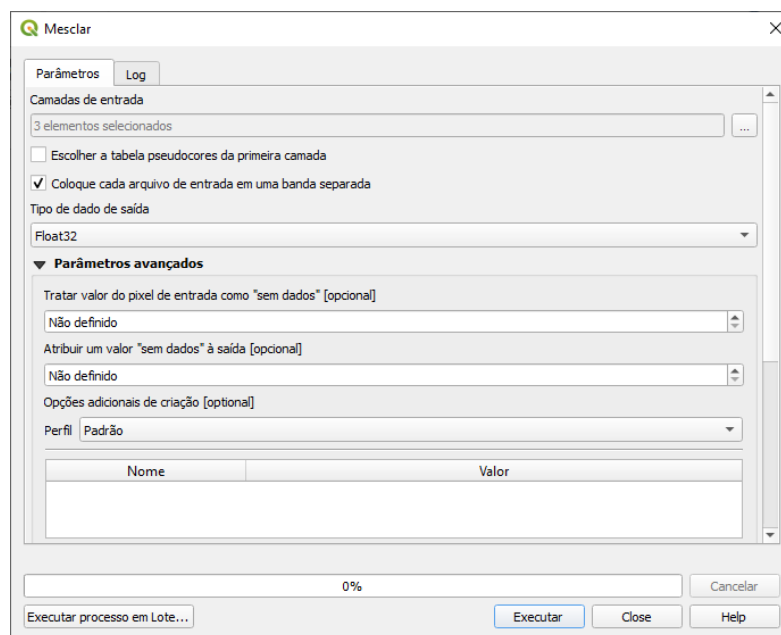
### 4.3.2 Criação das imagens com a combinação de bandas

As combinações de bandas são realizadas para realçar fenômenos ou objetos presentes na superfície terrestre, com o objetivo de facilitar a sua visualização. Para isso utiliza-se, frequentemente, a combinação *Red, Green, Blue* (RGB), que consiste em combinar as imagens das bandas espectrais monocromáticas obtidas pelos satélites, em três camadas correspondentes das três cores primárias. Com isso temos dois tipos de imagens, as chamadas imagens coloridas de cor verdadeira, são aquelas cujas bandas espectrais correspondem às bandas das próprias cores primárias, ou as imagens coloridas de falsa-cor, onde se pode utilizar qualquer uma das bandas espectrais em qualquer ordem de combinações para compor as camadas das cores primárias (FLORENZANO, 2011).

Com a utilização do *software* QGIS versão 3.10, podemos realizar a combinação de bandas espectrais através 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*. Na interface da ferramenta, mostrada na Figura 15, deve-se selecionar três imagens das bandas espectrais e o item “Coloque cada arquivo de entrada em uma banda separada”, assim, após a execução da ferramenta obtemos uma imagem colorida resultado da combinação das bandas espectrais.



Figura 15 – Interface da ferramenta “mesclar” do QGIS 3.10

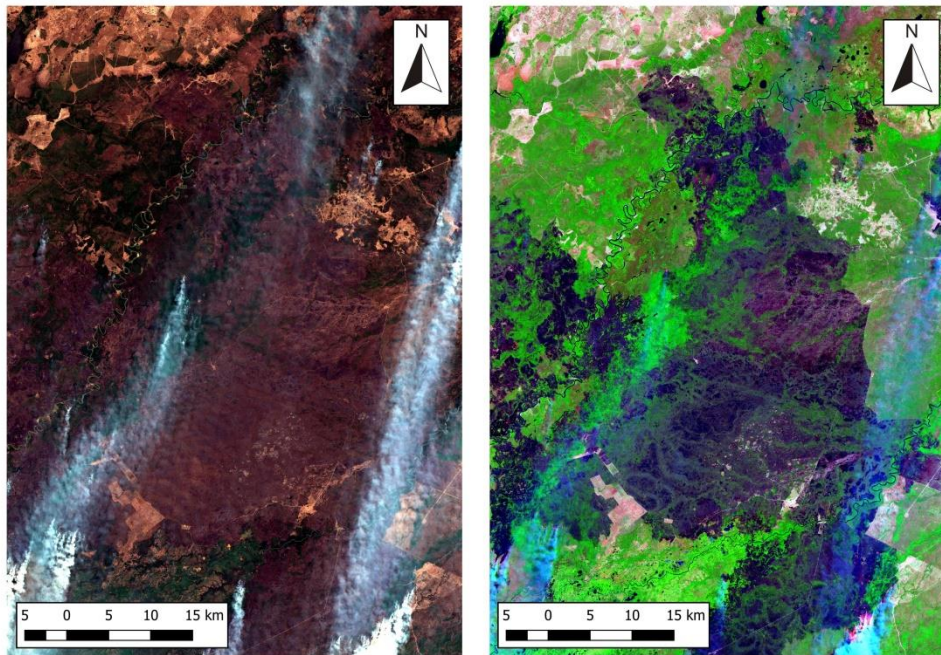


Fonte: QGIS (2020)

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-2A* e *Sentinel-2B* as bandas 11, 8A e 4, e para o satélite *Landsat-8* as bandas 6, 5 e 4. Já para a combinação RGB de cor verdadeira, são utilizadas as bandas espectrais correspondentes às cores primárias, vermelha, verde e azul, que para os satélites *Sentinel-2A*, *Sentinel-2B* e *Landsat-8* são utilizadas as bandas 4, 3 e 2. A Figura 16 mostra a combinação de cor verdadeira e a combinação de falsa cor para a análise da vegetação, geradas a partir das bandas 11, 8A e 4, do *Sentinel-2A* e do *Sentinel-2B*, onde através dessa combinação a vegetação saudável fica mais evidente com a cor verde, e a vegetação morta ou doente fica na cor violeta escuro.



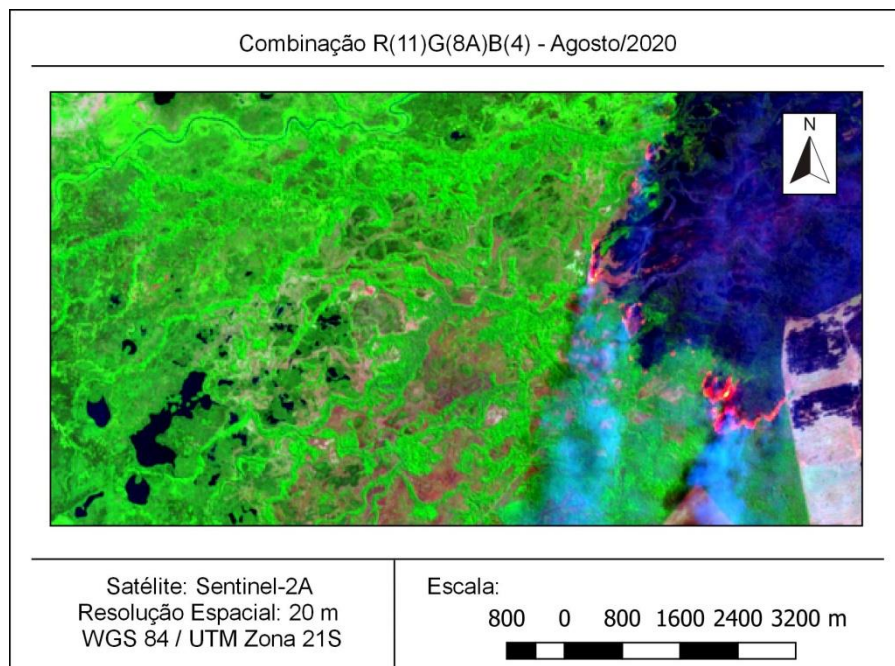
Figura 16 – Comparação entre as combinações de bandas, à esquerda, combinação de cor verdadeira (R2G3B4), e a direita, combinação de falsa-cor (R11G8AB4) para análise da vegetação



Fonte: Elaborado pelos autores

Neste exemplo, a Figura 17, mostra a combinação de falsa-cor (R11G8AB4), onde a cor verde representa a vegetação saudável e a cor violeta escuro representa a vegetação morta ou doente, também, é possível visualizar na vermelha e amarela as chamas ativas.

Figura 17 – Combinação de falsa-cor (R11G8AB4) para análise da vegetação



Fonte: Elaborado pelos autores

### 4.3.3 Índices espectrais

Para a quantificação e 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 *Normalized Burn Ratio* (NBR) e *Normalized Difference Vegetation Index* (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, Pereira 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, também, foi realizada a comparação entre os índices NDVI e NBR. Assim, foram criadas, para este estudo, imagens dos índices NBR e NDVI, nos meses de agosto e setembro de 2020, buscando, através de comparação, identificar aquele que melhor se adequa às necessidades dos objetivos do estudo.

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 6.

$$NDVI = \frac{8A-4}{8A+4} \quad (6)$$

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 7, 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*. Sendo assim, são utilizadas as bandas 8A e 12, conforme a Equação 8.

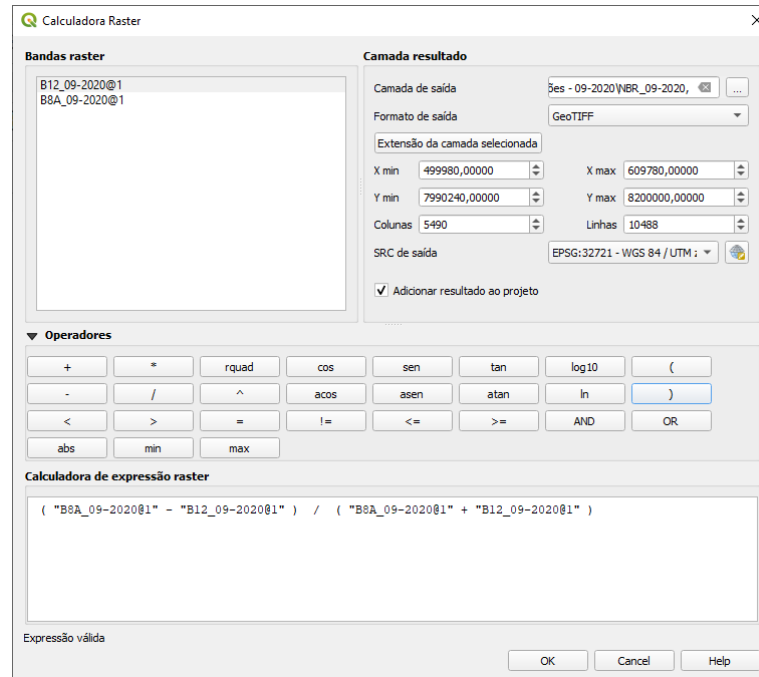
$$NBR = \frac{5-7}{5+7} \quad (7)$$

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

Com o *software* QGIS v3.10, e 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, como ilustrado na Figura 18, que retrata a interface da ferramenta, com a fórmula para o cálculo do índice NBR, por exemplo.

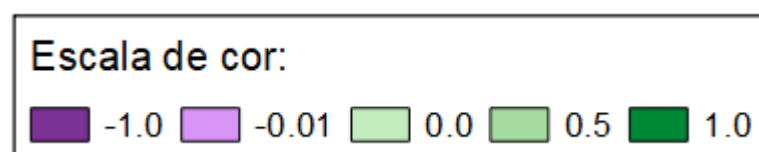
Figura 18 – Interface da ferramenta “Calculadora *raster*” do QGIS 3.10



Fonte: QGIS (2020)

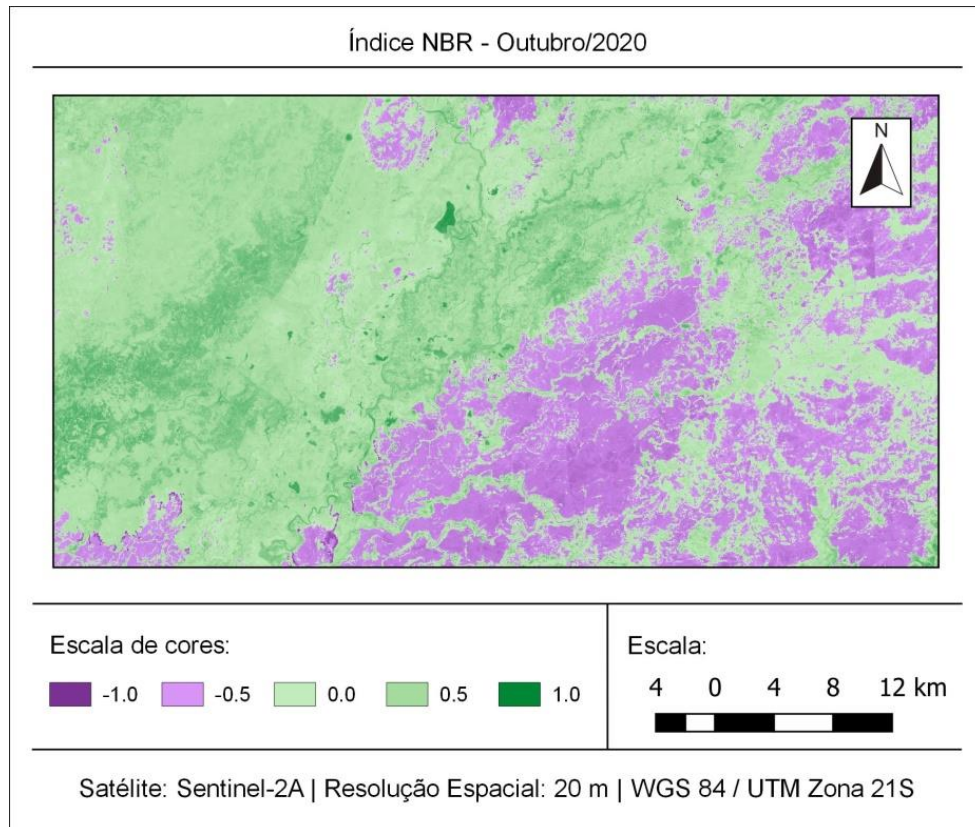
Após o término do processamento, o resultado é uma imagem *raster* monocromática, onde os *pixels* representam o valor do índice calculado, assim, é necessária aplicar a imagem uma escala de cor. Para isso altera-se o tipo de renderização da banda nas propriedades da camada *raster*, no *software* QGIS v3.10, 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 em que é feito o escalonamento. Para esse estudo, foi adotada escala de cores *Purple-Red-Green* (PRGn), de cinco classes com um intervalo de -1 a 1, como mostrada na Figura 19, para fins de comparação foi atribuída a mesma escala para ambos os índices espectrais. A aplicação do uso dessa escala é mostrada na Figura 20.

Figura 19 – Escala de cor utilizada para os índices NBR e NDVI



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 20 – Imagem do uso da escala de cores para o índice NBR, no Parque Estadual Encontro das Águas



Fonte: Elaborado pelos autores

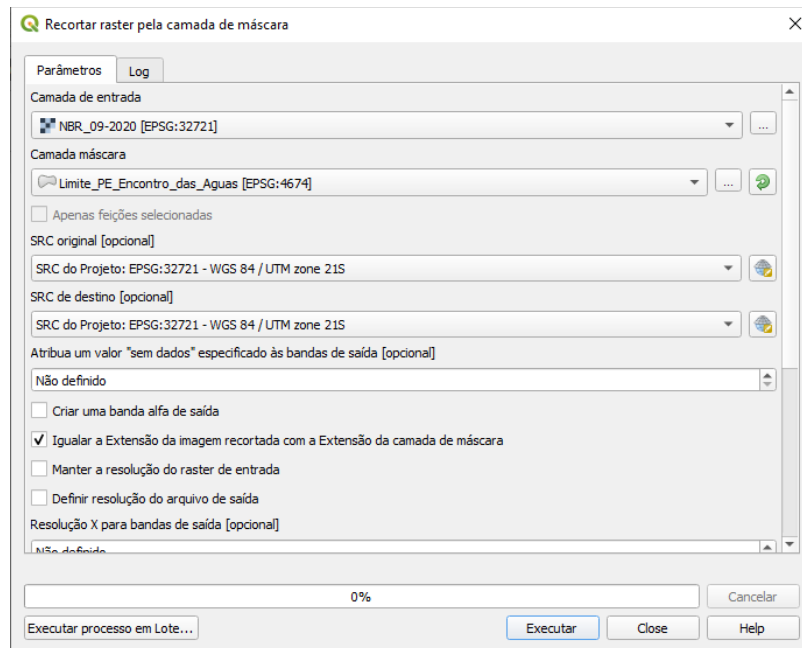
#### 4.3.4 Cálculo da área queimada

O processamento das imagens de satélites tem como objetivo, transformar os dados das bandas registradas pelos sensores em informações dos fenômenos ou componentes da superfície terrestre. Assim os sensores buscam fornecer, em um primeiro momento, informações visuais a respeito desses fenômenos ou objetos, porém, após uma análise é possível se extrair dados estatísticos das imagens, que possibilitam construir um panorama a respeito de uma região.

Antes de usar a ferramenta para calcular a área desejada, deve-se recortar a camada *raster* nas dimensões ou limitações da área de estudo. Para isso, foi utilizada a ferramenta “Recortar *raster* pela camada de máscara”, na aba “*raster*”, e categoria “extrair” do *software* QGIS 3.10, como mostra a sua interface na Figura 21. Essa ferramenta permite realizar o recorte de uma camada *raster* a partir de uma camada vetorial, que contenha a delimitação da área desejada. Após o processamento, obtém-se uma camada *raster* no formato da camada vetorial.



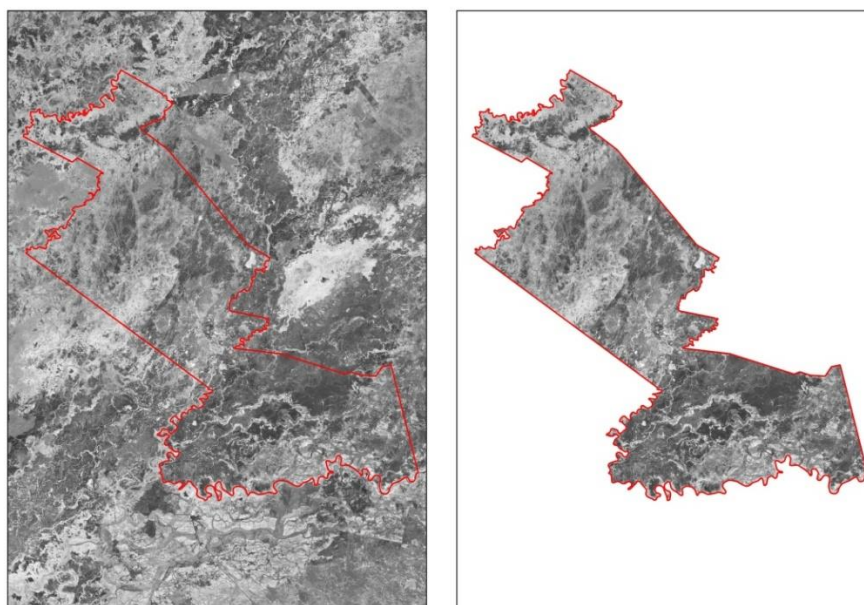
Figura 21 – Interface da ferramenta “Recortar *raster* pela camada de máscara” do QGIS 3.10



Fonte: QGIS (2020)

Neste estudo, a camada vetorial é a delimitação do Parque Estadual Encontro das Águas, e as camadas *raster* são as imagens mensais do índice NBR durante o ano de 2020, ambas são apresentadas na Figura 22.

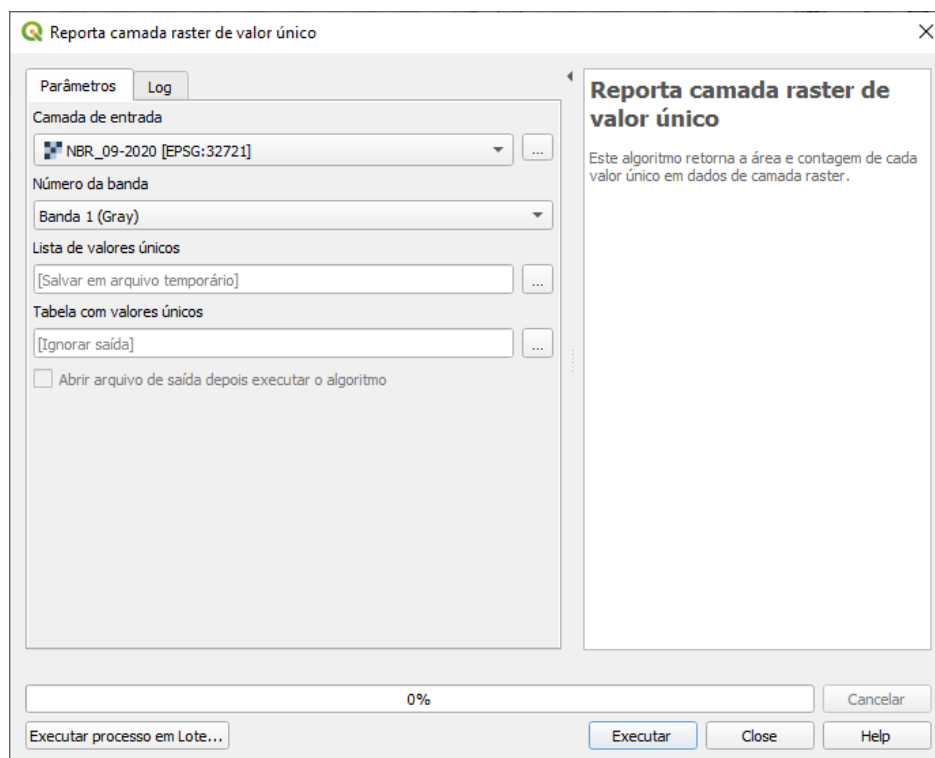
Figura 22 – Imagem da camada *raster* e da camada vetorial do Parque Estadual Encontro das Águas do mês de outubro de 2020, à esquerda, sem aplicação da ferramenta, e a direita, resultado após o uso da ferramenta



Fonte: Elaborado pelos autores

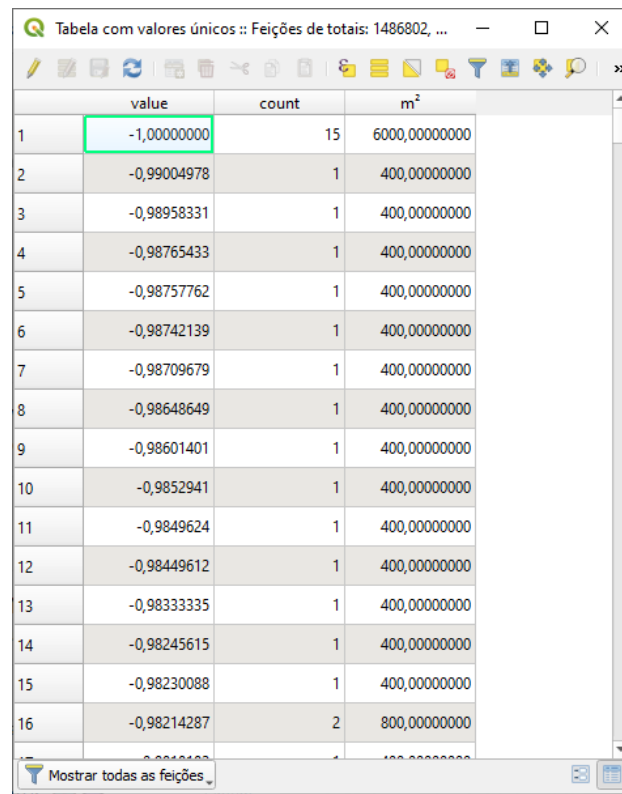
Já com a imagem *raster* delimitada na área de estudo, podemos utilizar a ferramenta “Reporta camada *raster* de valor único”, do *software* QGIS versão 3.10, que possibilita realizar o cálculo da área de uma imagem de satélite. Essa ferramenta utiliza uma camada *raster*, na entrada de dados, e retorna, como resultado uma tabela que pode ser usada dentro do *software*, ou exportada para outros aplicativos, como mostra sua interface na Figura 23. A tabela resultante do processamento da ferramenta é dividida em três colunas onde: a primeira coluna apresenta os valores numéricos de todos os pixels que formam a imagem; a segunda coluna apresenta quantas vezes esses valores se repetem na imagem; a terceira coluna apresenta a área total para cada valor de pixels. A Figura 24 mostra a tabela resultada do processamento da ferramenta “Reporta camada *raster* de valor único”.

Figura 23 – Interface da ferramenta “Reporta camada *raster* de valor único” do QGIS 3.10



Fonte: QGIS (2020)

Figura 24 – Tabela resultada após o processamento da ferramenta “Reporta camada *raster* de valor único” do QGIS 3.10



	value	count	m <sup>2</sup>
1	-1,00000000	15	6000,00000000
2	-0,99004978	1	400,00000000
3	-0,98958331	1	400,00000000
4	-0,98765433	1	400,00000000
5	-0,98757762	1	400,00000000
6	-0,98742139	1	400,00000000
7	-0,98709679	1	400,00000000
8	-0,98648649	1	400,00000000
9	-0,98601401	1	400,00000000
10	-0,9852941	1	400,00000000
11	-0,9849624	1	400,00000000
12	-0,98449612	1	400,00000000
13	-0,98333335	1	400,00000000
14	-0,98245615	1	400,00000000
15	-0,98230088	1	400,00000000
16	-0,98214287	2	800,00000000

Fonte: QGIS (2020)

Neste estudo, todas as imagens do índice NBR, foram recortadas conforme a delimitação do Parque Estadual Encontro das Águas. Com a imagem recortada, foi possível, com a ferramenta “Reporta camada *raster* de valor único” fazer o cálculo estimado da área de forma individual, imagem por imagem. Após o processamento, foi gerada uma tabela com os valores dos pixels presentes na imagem, e o valor de sua área. Para facilitar a análise dos resultados, essas tabelas foram exportadas para o Microsoft Excel, onde foi calculada a somatória dos valores da área total do parque, e das áreas queimadas, que podem ser identificadas pelos pixels com valores negativos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através dos processos demonstrados nos procedimentos metodológicos. As imagens processadas são apresentadas ao longo deste capítulo, juntamente com suas análises e resultados obtidos pelos autores sobre os objetivos específicos deste estudo. Os resultados dos processamentos estão divididos em três análises, sendo a primeira a comparação entre os índices espectrais e combinação de bandas, a segunda a análise do comportamento da queimada no Parque Estadual Encontro das Águas, no ano de 2020, e a terceira a comparação do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019.

### 5.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES ESPECTRAIS NDVI E NBR E A COMBINAÇÃO R(11)G(8A)G(4)

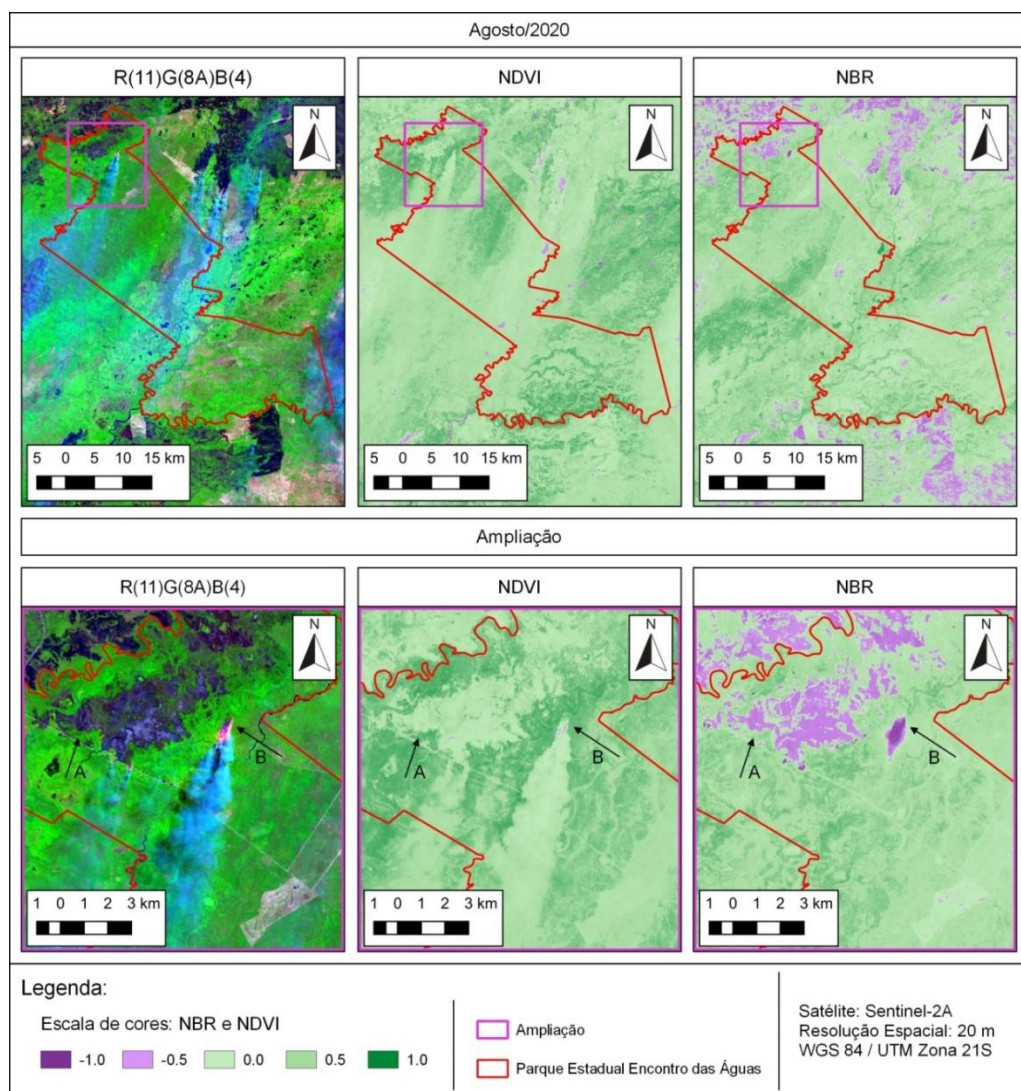
A comparação entre os índices espectrais e a combinação de bandas, foi realizada com o objetivo de escolher qual seria o índice mais adequado para o objetivo do trabalho, ou seja, qual índice apresenta melhor resultado na identificação de áreas queimadas. Diante da revisão da literatura, estudos como o de Leite *et al.* (2017) e Pereira *et al.* (2015), realizaram a comparação entre os índices *Normalized Burn Ratio* (NBR) e *Normalized Difference Vegetation Index* (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 desses 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 primeira comparação foi realizada com as imagens do mês de agosto de 2020, mostrada na Figura 25. Nas ampliações das imagens, a região afetada pela queimada representada na composição de bandas pela cor violeta-escura sendo indicada pela seta “A”. Na imagem do índice NDVI, a região é representada pela cor verde-claro, que representa os valores positivos próximos de zero. Já na imagem do índice NBR, a região é representada na cor roxo-claro, que representa 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. A região indicada pela seta “B” apresenta um foco de incêndio ativo com a fumaça crescente a sudoeste e ao analisar essa região na imagem do NDVI foi observado que o foco é



representado com a mesma cor que as demais áreas queimadas. Já na imagem do NBR, os focos de incêndio ativo são representados pela cor 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, onde 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, conseqüentemente, é afetada pelos componentes da camada atmosférica.

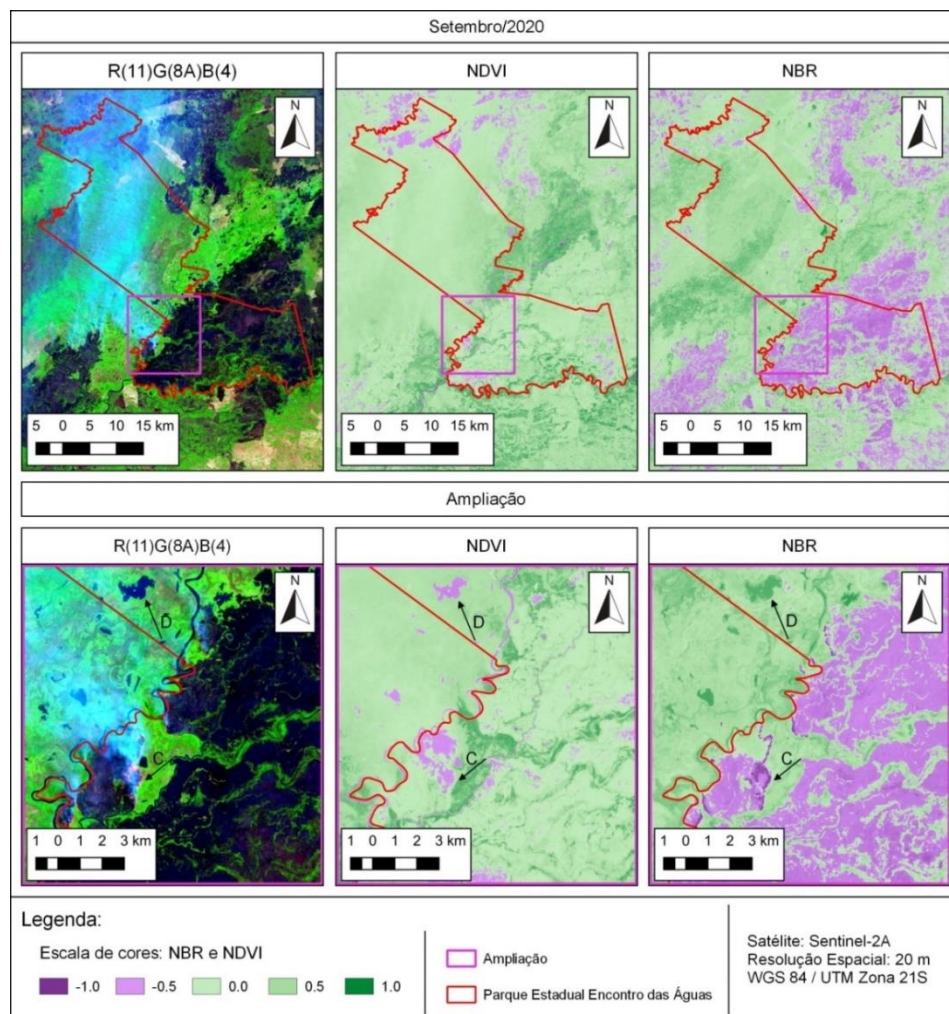
Figura 25 – Comparação entre a combinação R(11)G(8A)B(4) e os índices espectrais NDVI e NBR, no mês de agosto de 2020, a partir das imagens do *Sentinel-2A*



Fonte: Elaborado pelos autores

A segunda comparação foi realizada com as imagens do mês de setembro de 2020, mostrada na Figura 26. O corpo d'água indicado pela seta "D", permite analisar o comportamento dos índices em relação a identificação e classificação da água na superfície terrestre. No NDVI foi observado que o corpo d'água é representado pela cor roxa, que representa valores negativos. Já no NBR, o corpo d'água é representado pela cor 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. As análises referentes à seta "B", na Figura 25, também são válidas para a seta "C" na Figura 26. No entanto, pode-se destacar que o NBR em algumas regiões, onde a ocorrência de fumaça muito densa ocasiona em algumas interferências na superfície terrestre, porém, não se iguala às interferências no NDVI.

Figura 26 – 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: Elaborado pelos autores

Diante dessas análises, os resultados encontrados são considerados previsíveis, pois se igualaram com os resultados dos estudos apresentados na revisão da literatura. Portanto, o índice NBR apresentou a melhor identificação e separabilidade da área queimada, sendo adotado para o processamento de todas as imagens desenvolvidas no estudo.

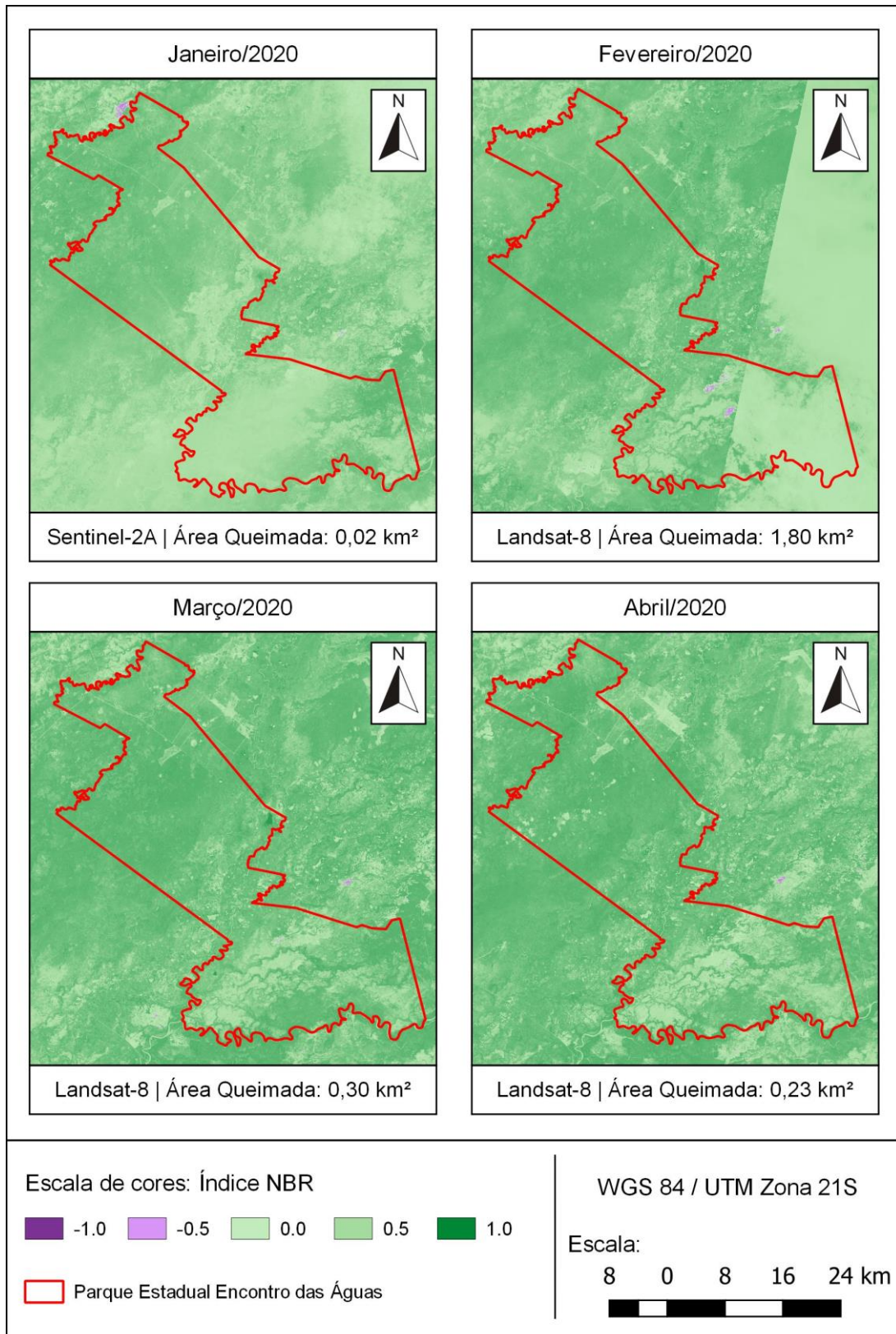
## 5.2 HISTÓRICO COMPARATIVO DAS ÁREAS QUEIMADAS

A partir da escolha 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 em que a queimada foi a 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 que estão apresentados nas Figuras 27, 28 e 29.

Com os valores das áreas queimadas do Parque, foi criado o Gráfico 2, que possibilita a análise da evolução das áreas queimadas. Assim, foi observado 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 1194,9% na área queimada e entre os meses de setembro e outubro ocorreu 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, que ocorreu devido às grandes interferências atmosféricas e a ausência de alternativas na seleção das imagens. Mesmo selecionando a melhor imagem disponível, ela ainda apresentava interferências atmosféricas muito densas, o que gerou uma máscara sobre a superfície terrestre impedindo a sua visualização.

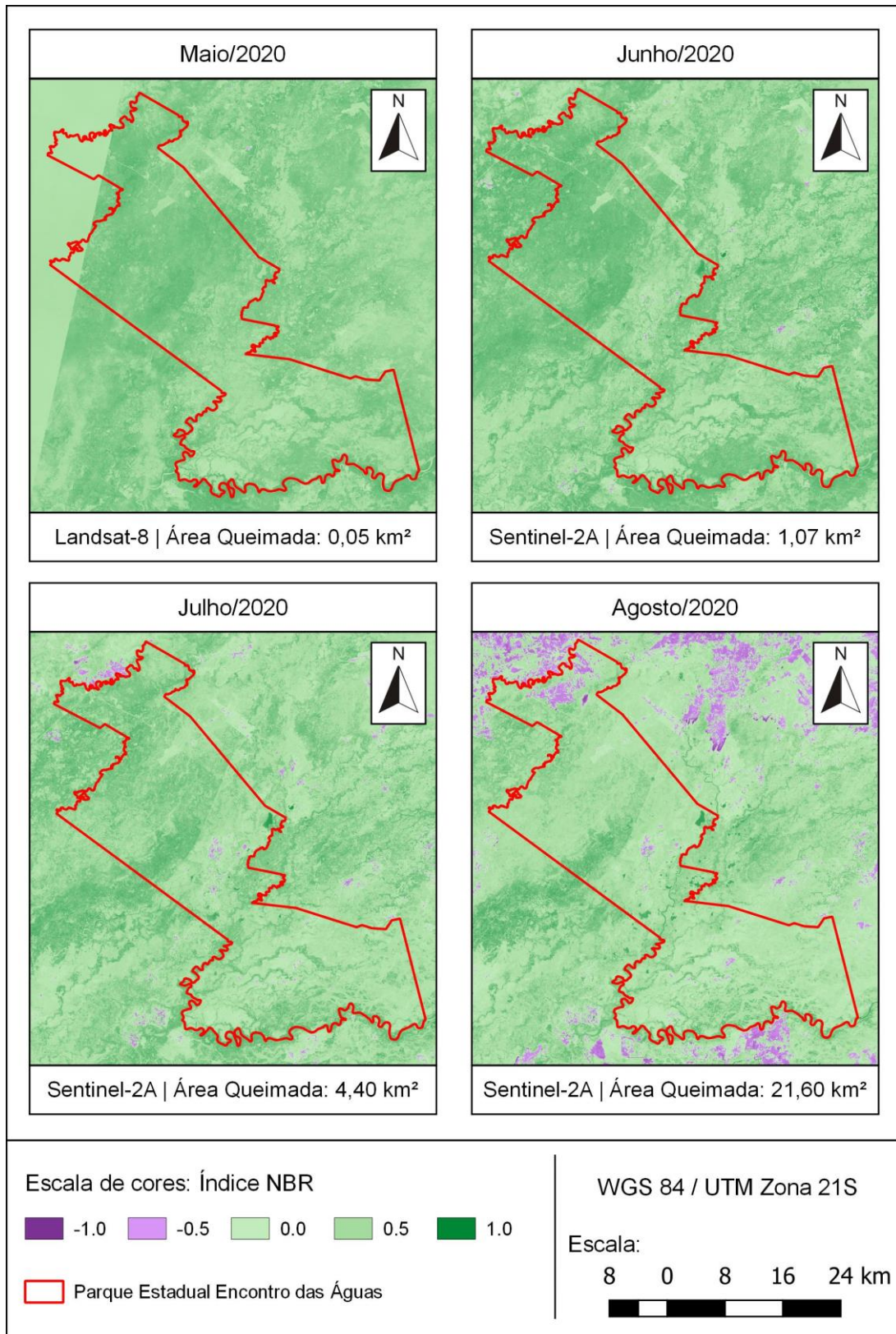


Figura 27 – Imagens do índice espectral NBR, dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril de 2020



Fonte: Elaborado pelos autores

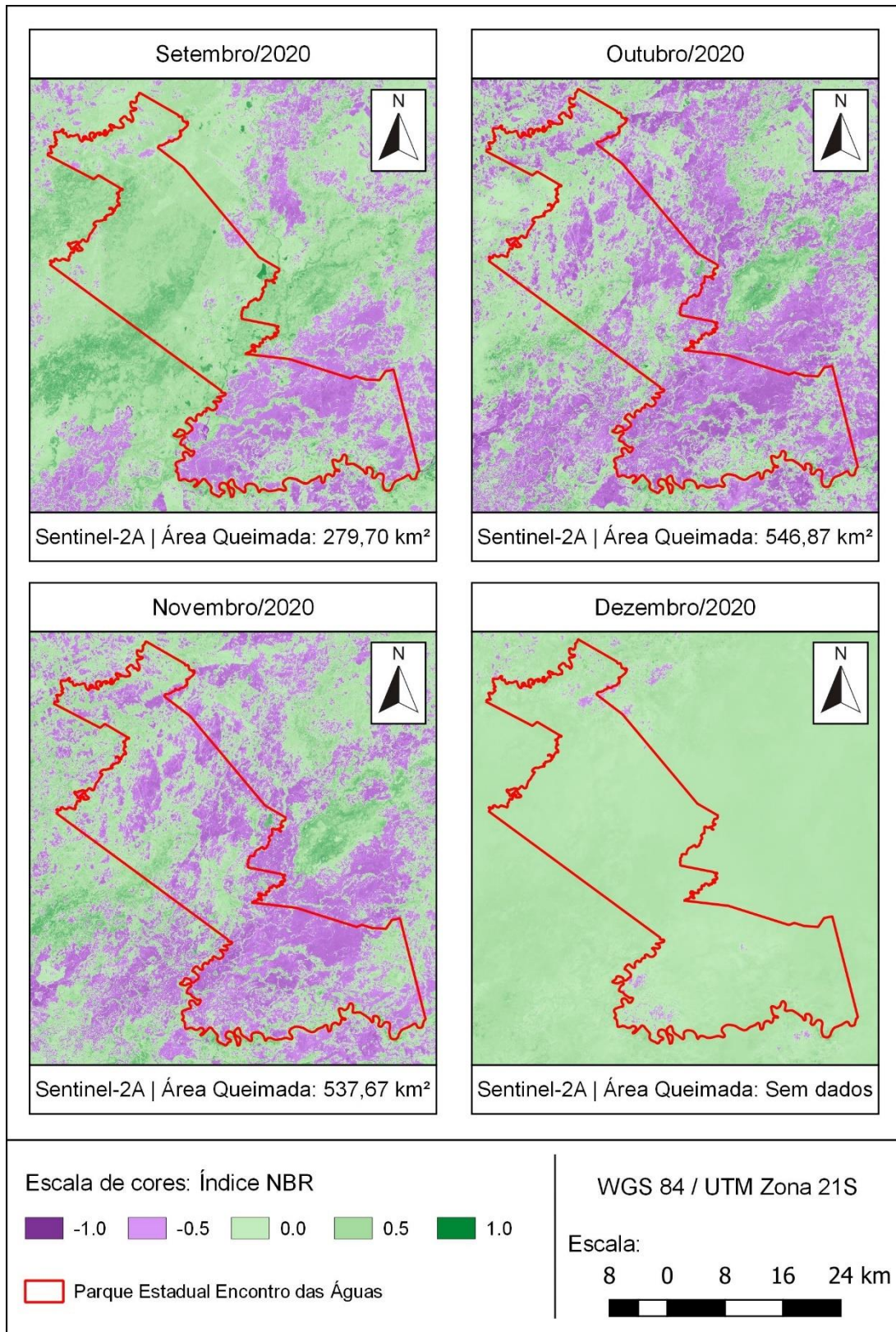
Figura 28 – Imagens do índice espectral NBR dos meses de maio, junho, julho e agosto de 2020



Fonte: Elaborado pelos autores

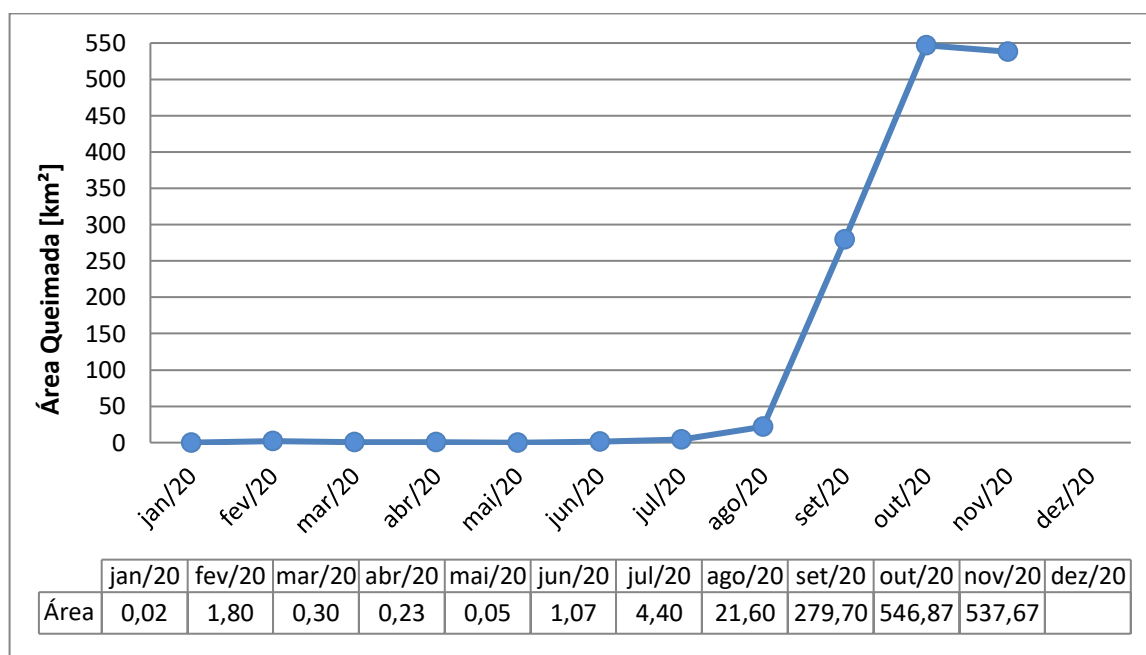


Figura 29 – Imagens do índice espectral NBR dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2020



Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 2 – Áreas queimadas mensais do ano de 2020



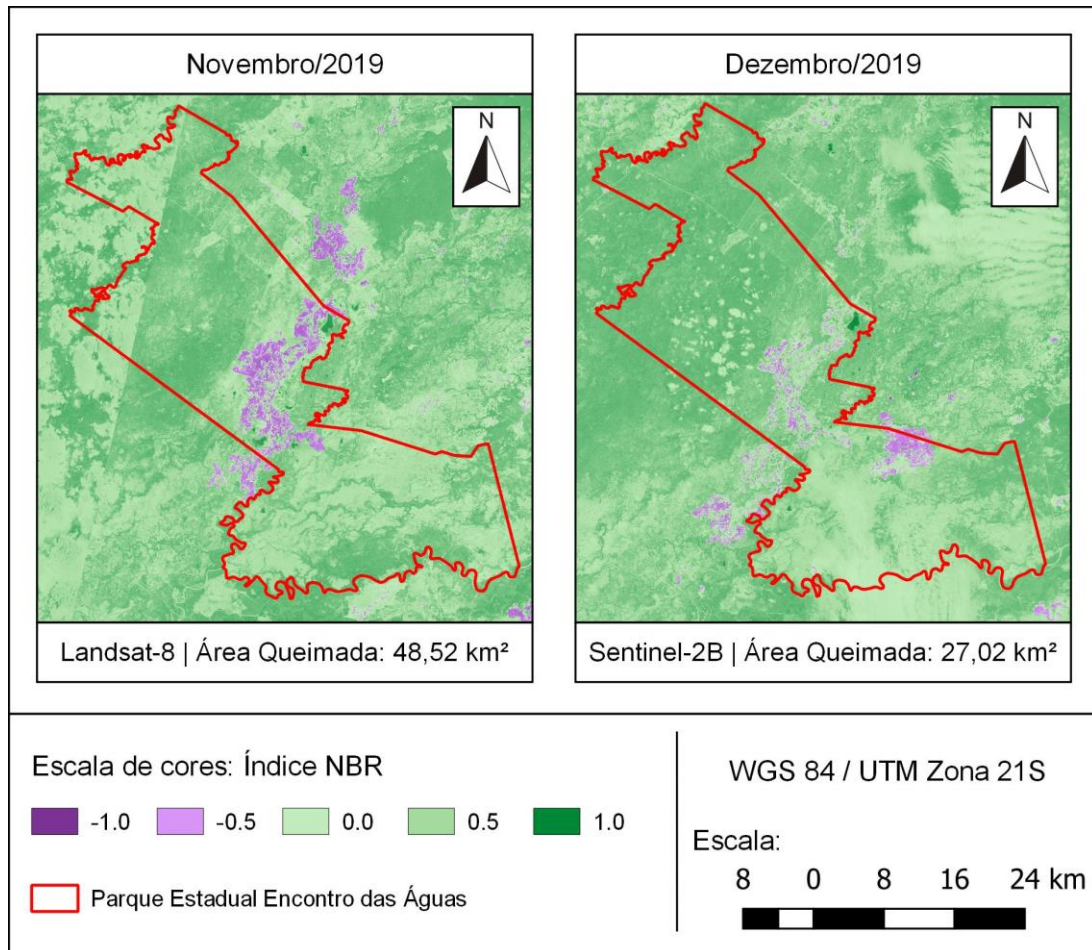
Fonte: Elaborado pelos autores

Portanto, os meses em que a queimada ocorreu, de maneira mais agressiva, foram os meses de agosto, setembro e outubro, no 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 término do período mais agressivo, além de apresentar o maior crescimento nos valores das áreas queimadas.

Em comparação com 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). Através 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 km<sup>2</sup>, 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 realizam 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 em valores diferentes.

Também observou-se que, o 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 período no ano de 2019. Com o processamento, foi obtido o resultado das imagens do índice NBR e os valores numéricos das áreas queimadas, apresentados nas Figura 30 e Figura 31.

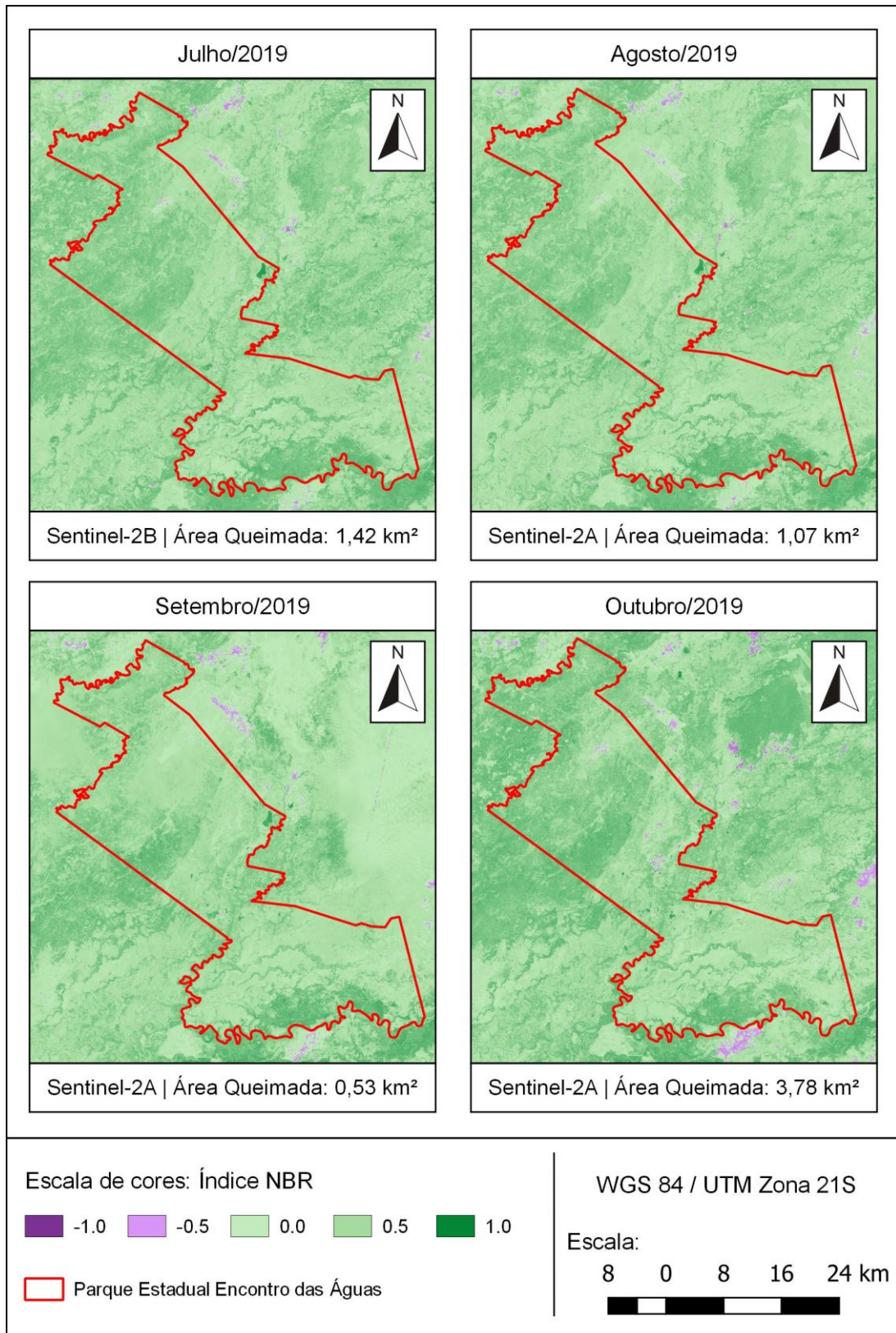
Figura 30 – Imagens do índice espectral NBR dos meses de novembro e dezembro de 2019



Fonte: Elaborado pelos autores



Figura 31 – Imagens do índice espectral NBR dos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2019

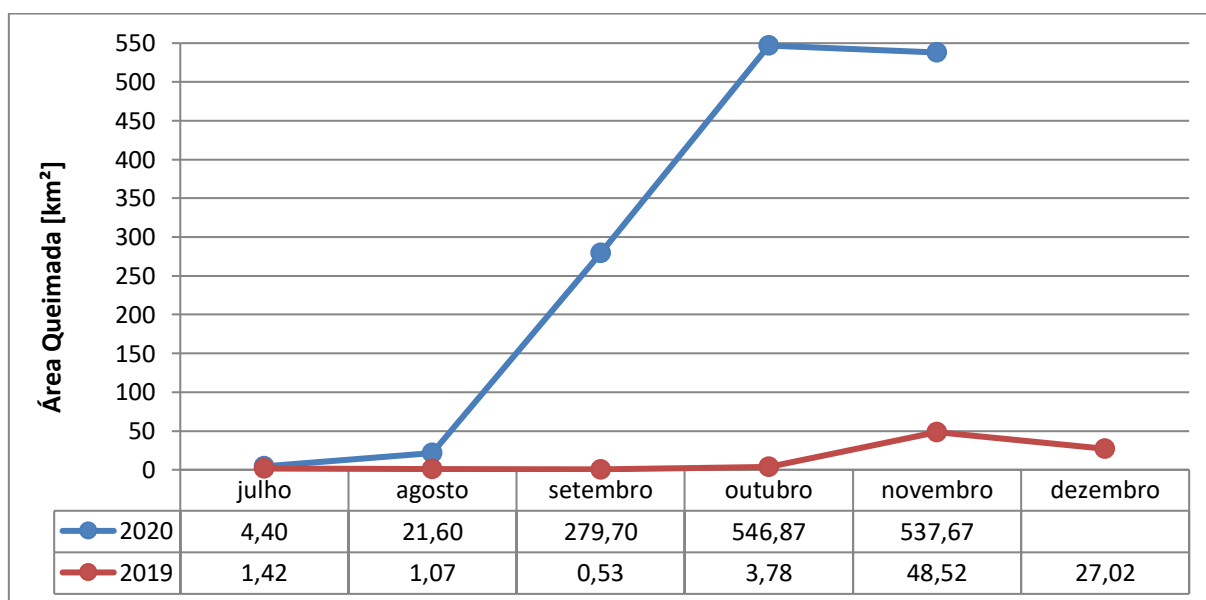


Fonte: Elaborado pelos autores

A partir dos valores das áreas queimadas do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019, foi criado o Gráfico 3. Com isso, ao observar os meses com maiores valores de queimadas em cada ano, percebe-se que o mês de outubro de 2020 apresentou uma área onze vezes maior do que o mês de novembro de 2019. Além disso, também é possível observar que o período de alta das queimadas no Parque variou entre os anos: no ano de 2020, esse período foi entre os meses de agosto e outubro; e no ano de 2019, esse período ocorreu 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, que no ano de 2020, esse período ocorreu de maneira intensa e adiantada em relação ao ano de 2019.

Desse modo, o monitoramento permite avaliar os efeitos da queimada, além de associá-los com os fatores naturais ou antrópicos que levaram a alta dos eventos. A realização do monitoramento, de maneira constante, permite a criação de alertas para as autoridades aumentando a velocidade de combate aos incêndios, que traz como resultado a diminuição das áreas atingidas pelas queimadas.

Gráfico 3 – Áreas queimadas do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019



Fonte: Elaborado pelos autores

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do sensoriamento remoto para o monitoramento dos recursos ambientais cresce, juntamente, 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 área de difícil acesso. Além disso, as técnicas de sensoriamento remoto permitem o processamento de dados não visíveis ao olho humano, através 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. Neste estudo, 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 por não atender ao estudo, porque não forneceria uma 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, a missão *Sentinel-2* apresentou-se ser 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. Porém, em alguns casos o programa *Sentinel-2* não forneceu uma imagem com qualidade, ou ocorreu a ausência dela. Nessa situação, foi utilizado o *Landast-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 *Normalized Burn Ratio* (NBR) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Para a identificação de queimadas foi concluído que o índice NBR apresentou melhor separabilidade entre a 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, isso 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 quantificação das áreas queimadas, através da escala numérica do índice, a qual classifica as queimadas com valores negativos. A partir dos valores das áreas queimadas, é possível analisar o comportamento da queimada, o que resulta na identificação dos meses mais intensos, que foram os meses de agosto, setembro e outubro para o ano de 2020, e os meses de 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, através do sensoriamento remoto, permitem a avaliação da eficácia das políticas públicas já utilizadas e pode auxiliar nas decisões futuras, tornando-as mais rápidas e eficazes. A eficiência do uso do monitoramento está diretamente relacionada com às técnicas de sensoriamento remoto e com a velocidade 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 no caso das queimadas, onde é possível avaliar as regiões mais afetadas e a intensidade dos eventos, sem a necessidade de muitos equipamentos, diminuindo custos, tempo e risco do 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, se torne mais aprimorada. Também, se recomenda a avaliação de outros índices espectrais para a identificação de queimadas, buscando melhoria na qualidade dos resultados. E sugere-se a aplicação do índice  $\Delta$ 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.

## 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/RJ, v. 16, n. 1, p. 173-198, jan. 2014. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Sensoriamento-remoto-aplicado-ao-estudo-da-com-em-e-Abreu-Coutinho/8c1167253471c25c12a06b4ccfeed51c7562a653>> Acesso em: 09 nov. 2020.
- ALHO, C. J. R. *et al.* **Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra**. Ambient. soc., São Paulo, v. 22, 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2019000100318&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2019000100318&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 02 nov. 2020.
- BERNARDI, J.V.E.; LANDIM, P.M.B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados**. DGA, IGCE, UNESP: Rio Claro (SP), Lab. Geomatemática, Texto Didático 10, 31 pp. 2002. Disponível em: <[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/7524594/textogps.pdf?1326114362=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAplicacao\\_do\\_Sistema\\_de\\_Posicionamento\\_G.pdf&Expires=1613613711&Signature=8rRd-dTNTFSxVAzgYMCxtoIrrLn9SekaoZpXUJd4M2n9TvHikYKqL6ZWkCADU2Gce4ZYbZR-URM6sCswIuGWOPMdduB197~7V67RNYpMdlE-6BPuipgmi6NUZbsLGXxONx0yi5JdqBMuPM3i~eTj9BxLOCxGiYEBnTleSaDmCNkb6EFQYExfiPDKwByMtCUER7jFZzlnf3PfcP7ywTVCPiV8ZLQgbkc4IXBvq8Woldfp53xk56D24XrOFkbzaWCNinG5cZZ2kKXkwV-LyIJYyN5VkeLVaaS~QQGoe9L0sK4O4nzq5xW90m0-15YSE-aywrJ5W73TlkCpkmfMGp~A\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/7524594/textogps.pdf?1326114362=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAplicacao_do_Sistema_de_Posicionamento_G.pdf&Expires=1613613711&Signature=8rRd-dTNTFSxVAzgYMCxtoIrrLn9SekaoZpXUJd4M2n9TvHikYKqL6ZWkCADU2Gce4ZYbZR-URM6sCswIuGWOPMdduB197~7V67RNYpMdlE-6BPuipgmi6NUZbsLGXxONx0yi5JdqBMuPM3i~eTj9BxLOCxGiYEBnTleSaDmCNkb6EFQYExfiPDKwByMtCUER7jFZzlnf3PfcP7ywTVCPiV8ZLQgbkc4IXBvq8Woldfp53xk56D24XrOFkbzaWCNinG5cZZ2kKXkwV-LyIJYyN5VkeLVaaS~QQGoe9L0sK4O4nzq5xW90m0-15YSE-aywrJ5W73TlkCpkmfMGp~A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)>. Acesso em: 04 fev. 2021
- BOURSCHEIT, A. **Mais fogo e muita chuva ameaçam o Pantanal**. Brasil, 29 set. 2020. O Eco. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/reportagens/mais-fogo-e-muita-chuva-ameacam-o-pantanal/>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
- BOCUHY, C. **A agenda climática brasileira e a devastação do Pantanal**. 20 out. 2020. O Eco. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/colunas/carlos-bocuhya-agenda-climatica-brasileira-e-a-devastacao-do-pantanal/>>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- BRUNO, L. O. **Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livre nas ciências ambientais: o uso do QGIS**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.4, n.8 p. 321-326, 2017. Disponível em: <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v4n8/v04n08a07.html>>. Acesso em: 24 maio 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. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/236769129\\_Image-Based\\_Atmospheric\\_Corrections\\_-\\_Revisited\\_and\\_Improved](https://www.researchgate.net/publication/236769129_Image-Based_Atmospheric_Corrections_-_Revisited_and_Improved)>. Acesso em: 06 maio 2021.
- CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P.; PALACIOS, A. **Assessment of different spectral indices in the red–near-infrared spectral domain for burned land discrimination**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 23, p 5103–5110, 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228788017\\_Assessment\\_of\\_different\\_spectral\\_indices\\_in\\_the\\_red-near-infrared\\_spectral\\_domain\\_for\\_burned\\_land\\_discrimination](https://www.researchgate.net/publication/228788017_Assessment_of_different_spectral_indices_in_the_red-near-infrared_spectral_domain_for_burned_land_discrimination)>. Acesso em: 15 nov. 2020.

CONGEDO, L. *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. v. 7.0.0.1, 25 out. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25480.65286/1>>. Acesso em: 05 maio 2021.

DEPARTAMENTO DE ÁREAS PROTEGIDAS. Secretaria de Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente. **Mapa Ilustrativo do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC**. 2019. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/images/arquivos/A0\\_Brasil\\_600\\_DPI\\_02\\_2019.pdf](https://www.mma.gov.br/images/arquivos/A0_Brasil_600_DPI_02_2019.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2020.

DUMBAR, B. *Image of the Earth from TIROS-1*. NASA, c2007. Disponível em: <[https://www.nasa.gov/vision/earth/features/bm\\_gallery\\_3.html](https://www.nasa.gov/vision/earth/features/bm_gallery_3.html)>. Acesso em: 26 jan. 2021.

EINHORN, C. *et al.* **O Pantanal se tornou um inferno**. 27 out. 2020. *The New York Times*. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/o-pantanal-se-tornou-um-inferno>>. Acesso em: 07 nov. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite**. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso em: 11 maio 2021.

EPIPHANIO, J. C. N. Satélites 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 (SP): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Disponível em: <[http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.34/doc/CAP2\\_JCNEpiphanio.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.34/doc/CAP2_JCNEpiphanio.pdf)>. Acesso em: 17 jan. 2021.

EPIPHANIO, J. C. N. **CBERS: estado atual e futuro**. São José dos Campos (SP): Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 14, p 2001-2008, 2001. Disponível em: <[http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sb sr@80/2008/11.18.12.46/doc/2001-2008.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sb%20sr@80/2008/11.18.12.46/doc/2001-2008.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2021.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2 User Handbook**. 2015. Disponível em: <[https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook)>. Acesso em: 13 nov. 2020.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services**. *ESA Communications*, 2012. Disponível em: <[https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2\\_SP-1322\\_2.pdf](https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2021.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel overview**. c2021. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>>. Acesso em: 03 maio 2021.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 120 p.

IBRAHIN, F. I. D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. 1. ed. São Paulo, Editora Érica, 2016. 128 p.

ILHÉU, T. **Pantanal em chamas**: como é o bioma e como ele é cobrado nas provas. 16 set. 2020. Guia do Estudante. Disponível em: <<https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/pantanal-em-chamas-como-o-bioma-e-como-ele-e-cobrado-nas-provas/>>. Acesso em: 26 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas nacional do Brasil Milton Santos**. Diretoria de Geociências: Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=247603>> Acesso em: 06 mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas de ecossistemas: Espécies ameaçadas de extinção no Brasil 2014**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101754>> Acesso em: 06 mar. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Missão Amazonia**. São José dos Campos (SP), 2021a. Disponível em: <<http://www.inpe.br/amazonia1/amazonia.php>>. Acesso em: 04 maio 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sobre o satélite**. São José dos Campos (SP), 2021b. Disponível em: <[http://www.inpe.br/amazonia1/sobre\\_satelite/](http://www.inpe.br/amazonia1/sobre_satelite/)>. Acesso em: 04 maio 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Satélites**. São José dos Campos (SP). c2018. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites>>. Acesso em: 12 jan. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **INPE comemora 40 anos de recepção de imagens de satélites**. 17 maio 2013. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos (SP). Disponível em: <[http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3291](http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3291)>. Acesso em: 22 jan. 2021.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Unidades de conservação no Brasil**. Busca. Parque Estadual Encontro das Águas. c2020. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/4253>>. Acesso em: 5 mar. 2021.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphânio (coordenador); Antônio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

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**. São Paulo, 29 set. 2020. Brasil de Fato. 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: 09 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. Trabalho apresentando no XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Campinas: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Sarah\\_Moura/publication/332566943\\_Utilizacao\\_dos\\_indices\\_espectrais\\_NBR\\_e\\_NDVI\\_na\\_caracterizacao\\_de\\_incendios\\_no\\_PARNA\\_Chapada\\_Diamantina\\_Bahia\\_Estudo\\_de\\_caso\\_dos\\_Gerais\\_do\\_Machobongo/links/5cbe03c44585156cd7ab502a/Utilizacao-dos-indices-espectrais-NBR-e-NDVI-na-caracterizacao-de-incendios-no-PARNA-Chapada-Diamantina-Bahia-Estudo-de-caso-dos-Gerais-do-Machobongo.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sarah_Moura/publication/332566943_Utilizacao_dos_indices_espectrais_NBR_e_NDVI_na_caracterizacao_de_incendios_no_PARNA_Chapada_Diamantina_Bahia_Estudo_de_caso_dos_Gerais_do_Machobongo/links/5cbe03c44585156cd7ab502a/Utilizacao-dos-indices-espectrais-NBR-e-NDVI-na-caracterizacao-de-incendios-no-PARNA-Chapada-Diamantina-Bahia-Estudo-de-caso-dos-Gerais-do-Machobongo.pdf)> Acesso em: 12 nov. 2020.

LEMONS, V. **Incêndios no Pantanal: Porque o fogo ainda ameaça o ecossistema mesmo após a chegada das chuvas**. 07 nov. 2020. BBC Brasil. 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**. 12p, 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. 788 p.

LÖBLER, C. A.; *et al.* **Geoprocessamento**. 1. ed. Porto Alegre: Sagah, 2019. 275 p.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 293 p.

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: 01 jun. 2021.

MARTÍN, M. P.; SALINERO, E. C. **Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA AVHRR**. Universidade de Alcalá, v.7,p. 109-128, Alcalá de Henares (Madri), 1998. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/39387025\\_Cartografia\\_de\\_grandes\\_incendios\\_forestales\\_en\\_la\\_Peninsula\\_Iberica\\_a\\_partir\\_de\\_imagenes\\_NOAA-AVHRR](https://www.researchgate.net/publication/39387025_Cartografia_de_grandes_incendios_forestales_en_la_Peninsula_Iberica_a_partir_de_imagenes_NOAA-AVHRR)>. Acesso em: 16 abr. 2021.

MARTÍN, M. P.; SALINERO, E. C.; GÓMEZ, I. **Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data**. 5<sup>th</sup> International Workshop On Remote Sensing And Gis Applications To Forest Fire Management, Universidad de Zaragoza, p. 193-197, 2005. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/248428333>>. Acesso em: 10 nov. 2020.



MARTÍN, M. P.; SALINERO, E. C. PALACIOS, A. *Assesment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination*. *International Journal of Remote Sensing*, v.23, n.23 p. 5103-5110, 2002. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160210153129>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

MELO, D. T. **Índice físico (NDVI) aplicado na análise da cobertura vegetal do parque nacional das nascentes do Rio Parnaíba**. Corrente (PI): Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí, 2017. 26 p. Disponível em: <<http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/handle/prefix/548>>. Acesso em: 04 mar. 2021.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 266 p. Disponível em: <<http://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

MENEGASSI, M. E. **Encontro das chamas ameaça parque com maior concentração de onças-pintadas do mundo**. 8 set. 2020a. *O Eco*. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/rep-ortagens/encontro-das-chamas-ameaca-parque-com-maior-populacao-de-oncas-pintadas-do-mundo/>>. Acesso em: 5 mar. 2021.

MENEGASSI, M. E. **Fogo já atingiu mais que um quinto de todo o Pantanal**. 24 set. 2020b. *O Eco*. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/noticias/fogo-ja-atingiu-mais-de-um-quineto-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](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2020.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 241 p. Disponível em: <[http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.20.14.47/doc/IN PE%208465.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.20.14.47/doc/IN%20PE%208465.pdf)>. Acesso em: 14 jan. 2021.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 386 p.

PANTALEÃO JR, C. M.; FERREIRA, R. V. **Avaliação do desempenho do índice  $\Delta$ NBR para a identificação de áreas queimadas na Microrregião de Uberaba, MG**. *Brazilian Geographical Journal*, Ituiutaba (MG), v. 11, n. 2, p. 159-169, 2020. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/52096>> Acesso em: 21 dez. 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, n. 68/8, p. 1665-1680, 2015. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44386>> Acesso em: 21 dez. 2020.

PEREIRA, J. **Área queimada no Pantanal já passa de 2 milhões de hectares, tamanho referente a 10 vezes as cidades de SP e RJ juntas.** 9 set. 2020. O Eco. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2020/09/09/area-queimada-no-pantanal-ja-passa-de-2-milhoes-de-hectares-tamanho-referente-a-10-vezes-as-cidades-de-sp-e-rj-juntas.ghtml>>. Acesso em: 9 maio 2021.

POTT, A. *et al.* **Plant diversity of the Pantanal wetland.** São Carlos , v. 71, n. 1, supl. 1, p. 265-273, Apr. 2011 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842011000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842011000200005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 02 nov. 2020.

**QGIS:** Sistema de Informação Geográfica. *Version 3.10.13.* QGIS Project, 2020. Disponível em: <<https://qgis.org/en/site/>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

RIBEIRO JÚNIOR, A. **Queimada em refúgio das onças em MT teve origem em fazenda clandestina.** São Paulo, 30 set. 2020. UOL Notícias. 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: 09 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](https://www.researchgate.net/publication/268376667_Atmospheric_Topographic_Correction_for_Airborne_Imagery/link/55bf120e08ae092e96651af2/download)>. Acesso em: 05 maio 2021.

ROSAN, T. M.; ALCÂNTARA, E. **Deteção de áreas queimadas e severidade a partir de índice espectral  $\Delta NBR$ .** Trabalho apresentando no XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr/papers/analise-do-uso-e-cobertura-da-terra-apos-a-ocorrencia-de-queimadas-no-municipio-de-alto-paraíso-de-goias>> Acesso em: 16 nov. 2020.

ROUSE, J. W. *et al.* **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation.** 1973. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740004927>>. 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. Cuiabá (MT). 2020. Disponível em: <<https://www.icv.org.br/publicacao/caracterizacao-das-areas-atingidas-por-incendios-em-mato-grosso/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

SILVA, M. S. da; PERES, L. G. M.; GURGEL, H. da C. **Análise do uso e cobertura da terra após a ocorrência de queimadas no município de Alto Paraíso de Goiás.** Trabalho apresentando no XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Campinas: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr/papers/analise-do-uso-e-cobertura-da-terra-apos-a-ocorrencia-de-queimadas-no-municipio-de-alto-paraíso-de-goias>> Acesso em: 09 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 (RR)*, v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019. Anual. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/rga/article/view/5759>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

SPACE X. **Starlink**. Página inicial. 2020. Disponível em: <<https://www.starlink.com/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **USGS**. Landsat missions. c2020. Disponível em: <[https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)>. Acesso em: 16 jan. 2021.

YOUNG, N. E. *A survival guide to Landsat proprocessing*. *Ecology: Wiley Periodicals*, Washington DC (EUA), v. 98, n. 4, p. 920-932, 2019. Mensal. Disponível em: <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecy.1730>>. Acesso em: 24 jan. 2021.