



THOMÁS HENRIQUE MIRANDA NEVES

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS QUEIMADAS NO
PANTANAL BRASILEIRO DE 2011 A 2020

LAVRAS - MG

2021

THOMÁS HENRIQUE MIRANDA NEVES

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS QUEIMADAS NO
PANTANAL BRASILEIRO DE 2011 A 2020

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Orientador

LAVRAS - MG

2021

Neves, Thomás Henrique Miranda.

Dinâmica espaço-temporal das queimadas no Pantanal brasileiro de 2011 a 2020 / Thomás Henrique Miranda Neves. - 2021.

41 p. : il.

Orientador(a): Fausto Weimar Acerbi Júnior.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Geoprocessamento. 2. Análise espacial. 3. Análise temporal.
I. Acerbi Jr., Fausto Weimar. II. Título.

RESUMO

O pantanal é um bioma com importância reconhecida mundialmente, de características marcantes quanto a sua fauna e flora. Porém, vem sofrendo queimadas cada vez mais intensas e com maiores extensões, muitas delas com origem antrópica. O combate a este tipo de incidente existe, entretanto, nos últimos anos, eventos de grande magnitude ocorreram na região. Neste trabalho realizou-se uma análise das características das queimadas de 2011 a 2020, através do sensoriamento remoto e suas ferramentas. Utilizou-se da análise das variáveis temporais e espaciais para buscar entender o processo do fogo na região do Pantanal brasileiro. Os resultados mostram que nos anos de 2019 e 2020 a área afetada pelo fogo apresentou maior valor do que nos outros anos analisados, com seus valores somados representando 49,45% de toda a área queimada durante os últimos 10 anos. Foi observado um padrão sazonal na incidência das queimadas, com um grande aumento nos números de ocorrências e área afetada durante a época seca. A espacialização das queimadas apontou correlação negativa significativa com a pluviosidade, acontecendo na sua maioria em áreas com menores valores de precipitação média anual e em maior frequência na cidade de Corumbá. Esse estudo fornece informações que servem como suporte para outros estudos acerca do assunto, bem como um adendo aos planos de combate e prevenção de queimadas.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Análise espacial. Análise temporal. Detecção de mudança. Meio ambiente.

ABSTRACT

The Pantanal is a biome with worldwide recognized importance, and remarkable fauna and flora. However, it has been suffering intense fires with significantly larger burned areas, many of them of anthropic origin. There are strategies to reduce these fires, however, in recent years, fires of greater magnitude have occurred in the region. This work carried out an analysis of the characteristics of the fires from 2011 to 2020, using remote sensing techniques. Temporal and spatial variables were used in order to understand the fire process in the Brazilian Pantanal region. The results shown that the larger burned areas occurred in 2019 and 2020, representing 49.45% of the total area burned the last 10 years. A seasonal pattern was observed with larger burned areas and number of fires during the dry season. There were a strong correlation between fires and rainfall, Where the majority of the fires occurred in areas with lower average annual precipitation, and more frequently in the city of Corumbá. This study provides information that supports other studies, as well as an addendum to the plans for combating and preventing fires.

Keywords: Geoprocessing. Spacial analysis. Temporal analysis. Change detection. Environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. OBJETIVO GERAL.....	7
2.1 Objetivos específicos.....	7
3. REVISÃO DE LITERATURA	8
3.1 Pantanal	8
3.2 O fogo no Pantanal	9
3.3 Sensoriamento remoto na detecção de queimadas	10
3.4 Sensor MODIS	12
3.5 Produto MODIS AQ1KM	14
3.6 Google Earth Engine	14
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1 Área de estudo	16
4.2 Base de dados	18
4.3 Queimadas	18
4.4 Clima	19
4.5 Análise da vegetação afetada.....	19
4.6 Análise por classe de tamanho.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Caracterização temporal	22
5.2 Relação entre queimadas e precipitação	24
5.3 Caracterização espacial.....	28
5.4 Cobertura vegetal afetada pelo fogo.....	30
5.5 Classificação das queimadas por classe de tamanho	32
6. CONCLUSÃO.....	34

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal está localizado na bacia do Alto Paraguai e é conhecido como a maior planície inundada do mundo, com mais de 160.000 km² de área total, do qual a maior parte se encontra no Brasil, formando um dos biomas brasileiros. Sua vegetação e fauna são uma mistura de influências dos biomas vizinhos, dando ao Pantanal características únicas e, em função disso, no ano de 2000 foi reconhecido pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura) como Reserva da Biosfera, ganhando importância internacional (BRASIL, 2000).

As características naturais do bioma podem ser alteradas devido a eventos de queimada com grande extensão e frequência, que são capazes de alterar todas as camadas do ecossistema; causando variação na composição química do solo (KNICKER, 2007; REDIN et al., 2011), provocando mudanças faunísticas, tanto na abundância quanto na riqueza de espécies, variando de acordo com as características de cada região (FRIZZO et al., 2011; DUARTE, 2021; UBAID, 2014). Mesmo sendo o fogo sendo um processo natural em algumas vegetações o fogo também causa danos à flora se em grande intensidade e frequência, que no caso do Pantanal pode levar ao aumento de espécies de cerrado em sua composição florística (cerradização) (POTT, 2000).

A importância natural que tem o Pantanal faz com que os estudos voltados para a análise das características das queimadas sejam de suma importância para monitorar as alterações nas suas características naturais. Nesse sentido, as inovações tecnológicas para detecção de queimadas utilizando dados coletados por sensores remotos tornou-se cada vez mais imprescindível, principalmente para entender sobre a dinâmica espacial e temporal do fogo, fornecendo informações como sazonalidade, localização, frequência, quantificação das áreas queimadas, contribuindo assim no planejamento de recursos para o combate contra futuras ocorrências e nas pesquisas sobre os efeitos sociais e ambientais das queimadas (ANDERSON et al., 2017; FRAGAL; GASPARETTO, 2017; ROY; LEWIS; JUSTICE, 2002).

O presente trabalho buscou analisar as queimadas ocorridas no Pantanal nos últimos 10 anos, tanto sob o aspecto temporal como espacial, fornecendo informações importantes sobre a dinâmica do fogo no bioma e seus impactos. Os resultados podem ser utilizados no embasamento e elaboração de planos de prevenção e combate a esses grandes eventos de queimadas.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho é analisar a dinâmica espaço-temporal das queimadas no bioma Pantanal entre os anos de 2011 e 2020.

2.1 Objetivos específicos

- a) Quantificar o número de polígonos de queimadas e a área queimada, anualmente e mensalmente;
- b) Analisar a relação entre as queimadas e a precipitação;
- c) Analisar a espacialização das queimadas;
- d) Caracterizar as queimadas quanto a sua extensão de área afetada pelo fogo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Pantanal

O bioma Pantanal forma a maior planície inundável do mundo, totalizando cerca de 200 mil quilômetros quadrados e faz parte do território do Paraguai, da Bolívia e do Brasil, sendo que a maior parte de todo o seu território se encontra neste último (JESUS; LIMA, 2003). Localizado na Bacia do Alto Paraguai, é uma bacia sedimentar quaternária, composta por um sistema de leques aluviais formado pelo Rio Paraguai e seus afluentes (JUNK et al., 2006). Os regimes de pluviosidade são bem definidos, com época seca de junho a agosto e uma época chuvosa de setembro a maio, com decréscimos nos totais anuais de precipitação ao longo dos anos. (CARDOSO; MARCUZZO, 2010). Existe uma alternância entre os anos mais secos e os mais chuvosos (HAMILTON; SIPPEL; MELACK, 1996).

Por sua posição central na América do Sul, o Pantanal é cercado por diferentes regiões fitoecológicas, sendo elas Amazônia, Cerrado, Florestas Meridionais e o Chaco, fazendo com que se encontre uma grande diversidade de espécies vegetais (POTT et al., 2011). Em várias porções do Pantanal observa-se também a ocorrência de contatos florísticos entre as regiões Fitoecológicas, formando uma grande amplitude de interações (ABDON et al., 2007). A contagem de espécies da flora fanerogâmica chegava a 1.863 e com mais coleta em áreas pouco exploradas, o número poderia ser ampliado para aproximadamente 1.900 plantas, como predito por Junk et al. (2006). É encontrada também uma vegetação aquática localizada em depressões de lagoas temporárias e lagoas permanentes, com a ocorrência de esteiras flutuantes (POTT; POTT, 2004). No geral, a vegetação pantaneira pode ser dividida em 16 classes de acordo com aspectos fisionômicos, florísticos, ecológicos e na mistura entre eles, sendo as classes com maior ocorrência o cerrado, o campo, os brejos, cerradão e semidecídua, formando aproximadamente 80% de toda a cobertura vegetal (SILVA et al., 2000).

A composição faunística segue o mesmo caminho de um cruzamento entre as regiões vizinhas. O Cerrado e a Amazônia têm maior contribuição para as espécies terrestres que criam o acesso até o pantanal por meio do Rio Paraguai, sentido norte sul, e pelos rios laterais sentido leste oeste (Piquiri, Taquari, Negro e Aquidauana). Muitas das espécies ameaçadas em outros biomas podem ser encontradas no Pantanal, como o cervo-do-pantanal, a onça e a ariranha, porém ainda existem espécies que necessitam de maiores estudos, como o veado campeiro, que tem a região central do Pantanal como um dos últimos locais possíveis de ser encontrado

(MAURO, 2002). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) existem catalogadas 263 espécies de peixe, 41 de anfíbios, 113 de reptéis, 463 de aves e 132 de mamíferos (MMA, 2021).

3.2 O fogo no Pantanal

Os períodos de seca no pantanal aumentam as chances de incêndios naturais, que é um fator adicional a formação da flora e fauna regional. Em anos com maior período seco, a frequência e severidade dos incêndios aumentam, influenciando no reestabelecimento de alguns mamíferos e plantas de vida longa (JUNK et al., 2006). Mesmo o fogo sendo característico dessa região, acontecendo de forma natural durante as épocas de seca, o aumento de pastagens e culturas aumentam a chance de existência de material inflamável, podendo influenciar na origem de incidentes mais graves (POTT; POTT, 2004).

Apesar de polêmicas, queimadas controladas para diminuição do material inflamável é uma prática comum em muitas regiões ao longo da história, visto que é uma prática de baixo custo e tem o objetivo de diminuir do risco de incêndios (WHITE; WHITE, 2016). Conforme Pott, citado por Rodrigues, Crispim e Comastri Filho (2002), a utilização da queima controlada se faz buscando a eliminação ou controle de vegetação indesejada, sendo um uso localizado e seletivo, tudo isso para promover um melhor crescimento das forrageiras. Apesar destes benefícios, o risco de uma queima descontrolada existe, podendo prejudicar não só a propriedade do produtor, como danos em cercas, culturas arbóreas e benfeitorias, mas também nas intermediações, provocando danos aos vizinhos e para a sociedade em geral. Danos estes que impactam na qualidade dos solos e águas, provocam perda ou redução de espécies nativas vegetais e animais, emissão de gases poluentes e problemas de saúde (CHAVES; SOUZA; FREITAS, 2020).

As queimadas frequentes e descontroladas podem causar a cerradização ou estímulo das plantas de cerrado a se estabelecerem, devido a sua alta resistência ao fogo (POTT, 2000). O fogo provoca uma modificação na estrutura da vegetação e, dessa maneira, afeta também a estrutura da comunidade de mamíferos de uma região. Pequenos roedores e marsupiais são o componente da mastofauna mais afetado devido à pequena mobilidade que geralmente possuem. Outra mudança provocada é no sub-bosque de florestas decíduas e semidecíduas, que naturalmente perdem as folhas aumentando o material combustível, afetando por exemplo, a avifauna presente nas partes mais baixas da floresta, seja por falta de abrigo ou alimento (JESUS; LIMA, 2003).

A quantidade e extensão das queimadas no bioma Pantanal do ano de 2020 chamaram a atenção do Brasil e do mundo. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021), 2020 foi o ano que o Pantanal foi mais afetado pelo fogo desde 2003, apresentando cerca de 200% focos de incêndios a mais que 2019. Essas queimadas são causadas na sua maioria por ações antrópicas, sejam acidentais ou propositais, provocando um impacto direto na fauna e flora, liberando gases poluentes e intensificando o efeito estufa (CHAVES; SOUZA; FREITAS, 2020)

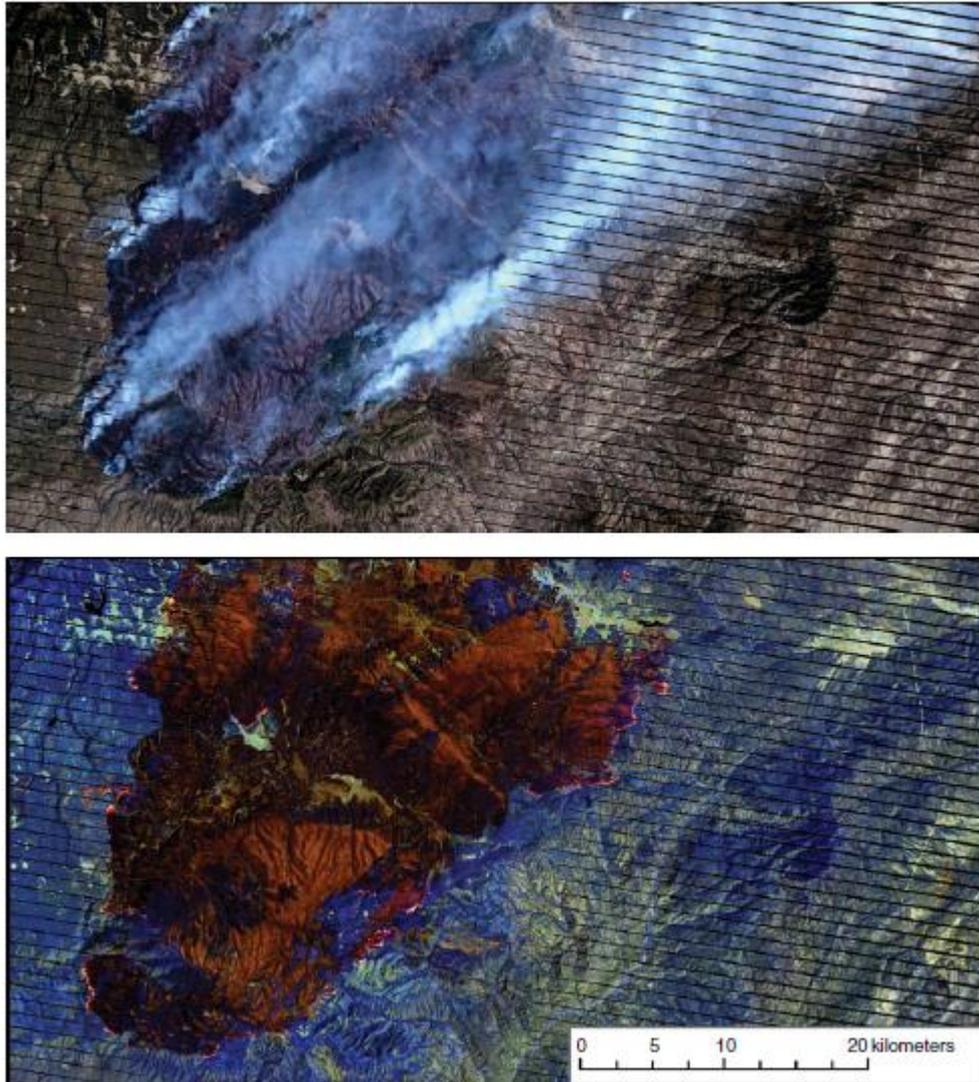
3.3 Sensoriamento remoto na detecção de queimadas

Segundo Meneses et al. (2012) “Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.” Para realizar essa medição e quantificação, são utilizados sensores posicionados a distância, podendo ser acoplados a aviões ou satélites. Esses sensores captam a radiação eletromagnética emitida ou refletida que chega até eles, desta forma separando a resposta espectral, possibilitando a criação de imagens e obtenção de dados (MARTINS, 2017).

Dentre os usos do sensoriamento está o monitoramento de áreas queimadas, iniciado no final da década de 80 (WANG; MIAO; PENG, 2012). Método muito eficiente para obtenção de dados de eventos de grande e pequena escala, já que possibilitam visão ampla e multitemporal de extensas áreas. (SILVA; PESTANA; MARTINS, 2019).

Existem dois tipos de espectros definidos na detecção de queimadas, o do fogo ativo e o da cicatriz da queimada, cada qual com suas particularidades. A obtenção de dados pode ser dificultada pela fumaça do fogo obstruindo a imagem das áreas queimadas (Figura 1) e calibração inadequada dos sensores, que influencia na acurácia das medições (YUAN; ZHANG; LIU, 2015; ROY; BOSCHETTI; SMITH, 2013). De acordo com Mouillot et al. (2014), o ponto inicial do monitoramento de queimadas ocorreu no final da década de 80, com o desenvolvimento de técnicas capazes de quantificar a área queimada, mostrando o potencial de sensores de resolução média na identificação de áreas afetadas pelo fogo.

Figura 1 – Queimadas no Arizona, EUA. A figura superior mostra uma imagem de composição verdadeira das bandas visíveis. A figura inferior representa uma imagem da faixa do infravermelho do Landsat ETM+, capaz de identificar a área queimada através da fumaça.



Fonte: Roy, Boschetti e Smith (2013).

Os índices são métodos de processamento da imagem para melhor visualização da resposta espectral do alvo (SCHEPERS, 2014). Os índices e bandas espectrais utilizados para a detecção das queimadas variam dependendo das características e localização do objeto analisado, alguns exemplos são BAI (Burned Area Index), NBRL (*Normalized Burn Ratio Long Short-wave Infrared Variation*), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), entre outros. Estudos indicam que os índices que apresentam bandas do infravermelho na sua composição têm distinguido os pixels de queimada de forma eficiente nas vegetações brasileiras (PEREIRA et al., 2015; PENHA, 2018).

Os sensores e satélites utilizados variam de acordo com as características do local e do objetivo a ser alcançado, existindo satélites de resoluções espaciais e temporais diferentes e com sensores distintos. Para satélites com resolução espacial de até 15m temos como exemplo o TM/Landsat, HRS/SPOT e o ASTER/TERRA, com bandas no infravermelho próximo (NIR) e na região do visível (VIS), que é capaz de analisar queimadas de pequeno porte, porém existe uma grande restrição quanto a resolução espacial e quanto a obtenção de imagens em dias nublados. Em paralelo a esses sensores temos os de resolução espectral e espacial menores, mas com grande resolução temporal como o AVRHH/NOAA e o VEGETATION/SPOT, que chegam a ter um ciclo de 1 dia, sendo capazes de um monitoramento mais dinâmico e uma chance maior de uma imagem sem nuvens, entretanto sua resolução espacial em torno de 1 km limita o tamanho da queimada avaliada, excluindo as de menor tamanho. Entre esses sensores citados estão os intermediários, que tem uma moderada resolução espacial e uma alta resolução temporal, dentre eles o MODIS/TERRA, MODIS/AQUA, WFI/CBERS e o WiFS/IRS, com composição de bandas NIR e VIS, capazes de comporem índices de vegetação frequentemente utilizado em pesquisas. Com o desenvolvimento de sensores que captam a energia eletromagnética refletida em comprimentos de ondas maiores, como a região das microondas, pode-se também utilizar as imagens SAR (radar de abertura sintética) para monitoramento de vegetação, já que são independentes de luz solar e geram imagens mesmo em dias nublados (XAUD; MARTINS; SANTOS, 2013).

3.4 Sensor MODIS

Os satélites lançados portando o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), nomeados TERRA e AQUA, fazem parte do projeto *Earth Observing System* (EOS) administrado pela NASA, que tem como função detectar mudanças na cobertura da terra, previsão e estudos climatológicos, fornecer observações de desastres como inundações e queimadas, além de estudos sobre o ozônio atmosférico. O sensor MODIS se tornou o principal sensor, com resolução espectral que registra 36 faixas e resolução espacial entre 250, 500 e 1000 metros (Tabela 1) (ESQUERDO; ANTUNES; ANDRADE, 2011)

Tabela 1 – Características gerais do sensor Terra MODIS (continua).

Órbita	705 km, sincronizado com o Sol. Descendente as 10:30, ascendente as 13:30.
Cobertura espectral	2330 km, $\pm 55^\circ$ <i>cross-track</i> .

Tabela 1 – Características gerais do sensor Terra MODIS (conclusão).

Bandas espectrais	36 bandas de 0.405 e 14.385 μm com subsistemas de calibração integrados.
Taxa de dados	11 Mbps (pico durante o dia).
Resolução radiométrica	12 bits.
Resolução espacial	250 m (bandas 1-2), 500 m (bandas 3-7), 1000 m (8-36).
Ciclo de trabalho	100%.
Cobertura de repetição	Diária, a norte da latitude 30° e de dois em dois dias na latitude 30°.

Fonte: Justice et al. (2002), adaptado pelo autor.

Os produtos MODIS são abrangentes quanto ao tipo de pesquisa devido as características gerais do sensor, podendo ter o objetivo de informar dados de balanço de energia, vegetação, cobertura terrestre, estudos marítimos. Além dos produtos do satélite Terra e Aqua, existem também outros que são a junção dos sensores dos dois satélites, podendo ser reconhecidos pela diferenciação dos nomes (MATOS; CANDEIAS, 2009).

MODxx = Nomes dados aos produtos do satélite Terra.

MYDxx = Nomes dados aos produtos do satélite Aqua.

MCDxx = Nomes do tipo de dado formado pela composição entre os sensores Aqua e Terra.

Dentre os produtos, existe os com função de detectar áreas queimadas, MCD45A1 e MCD64A1, sendo que o primeiro se tornou acessível ao público em meados de 2008 e é um algoritmo de detecção de mudanças na reflectância relacionadas com a queima de biomassa; o segundo foi apresentado em 2009 e é um algoritmo híbrido, juntando dados da reflectância e de fogos ativos. Ambos foram melhorados com a chegada das novas coleções do MODIS, diminuindo erros de omissão e comissão. Atualmente o algoritmo C6 MCD64A1 (introduzido junto com a coleção 6 do sensor MODIS) para detecção de áreas queimadas acontece com a formação de uma imagem com as mudanças persistentes em índices de vegetação sensíveis a queimadas, comparando com os dados de fogo ativo para definir quais mudanças são relacionadas a queimadas ou não. Esse algoritmo tem como diferença das versões mais antigas a melhoria na detecção de queimadas menos extensas e diminuição da incerteza temporal, com identificação das áreas queimadas no mesmo dia da detecção do fogo ativo ou até aproximadamente 2 dias depois (GIGLIO et al., 2018).

3.5 Produto MODIS AQ1KM

O produto AQ (Área Queimada), obtido pelo INPE, é o mais novo da linha de detecção de queimadas do sensor MODIS, otimizando a identificação em relação aos seus produtos precursores (MCD45A1 e o MCD64A1). Seu algoritmo utiliza do MIR (infravermelho médio), NIR e TIR (infravermelho termal) para definir espacialmente as classes dos pixels, diferenciando de forma satisfatória os dados de área queimada, utilizando series temporais para cobrir as lacunas da cobertura de nuvens, diminuindo também resíduos atmosféricos e a variação da reflectância diária (LIBONATI et al., 2015).

Sua validação foi realizada a partir de dados de área queimada de uma imagem Landsat com resolução espacial de 30 m utilizando um algoritmo que se resume na variação do NDVI e NBRL em duas imagens consecutivas. Caso a mudança seja observada no mesmo ponto para os dois índices, é classificada como uma marca de queimada e os resultados são comparados (LIBONATI et al., 2015).

3.6 Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma computacional do tipo nuvem com processamento de alta performance e uma capacidade de armazenar dados na ordem *petabyte*. Projetado para ser de fácil utilização e otimizar processamentos, o GEE também facilita a disseminação dos resultados a partir do momento que o pesquisador os obtém, podendo ser compartilhado e usufruído por outros usuários da plataforma em qualquer lugar do mundo (GORELICK et al., 2017).

No início, a base de dados do GEE era composta apenas por produtos de sensoriamento remoto, contudo, com o passar dos anos foram incluídos inúmeros dados de tipos diferentes, formando uma vasta e diversa biblioteca. Hoje conta-se com dados vetoriais, climáticos, de elevação e até sociais, juntamente com a série completa de dados do Landsat, MODIS e de outros importantes satélites. Essas imagens podem ser encontradas no seu formato original ou já modificadas pelos usuários da plataforma, através de algoritmos disponíveis pelas bibliotecas do GEE. Esses produtos prontos podem ser utilizados no script livremente e, além da máscara de nuvens, comportam funções de correção solar, correção atmosférica e inclusive índices de vegetação como EVI e NDVI (KUMAR; MUTANGA, 2018).

Além dessa disponibilidade de arquivos, o uso dessa nova plataforma diminuiu problemas computacionais como o uso de softwares pesados para análise de dados, dificuldade

no tratamento de imagens em relação a nuvens e facilitou processos antes extensos, tornando-o vantajoso para processamento de dados em escala global. Seus usos variam de mapeamento da vegetação e do uso da terra, aplicações na agricultura, até monitoramento de desastres naturais, comprovando a eficiência da plataforma em lidar com dados enormes, de escalas diferentes e séries temporais variadas (MUTANGA; KUMAR, 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

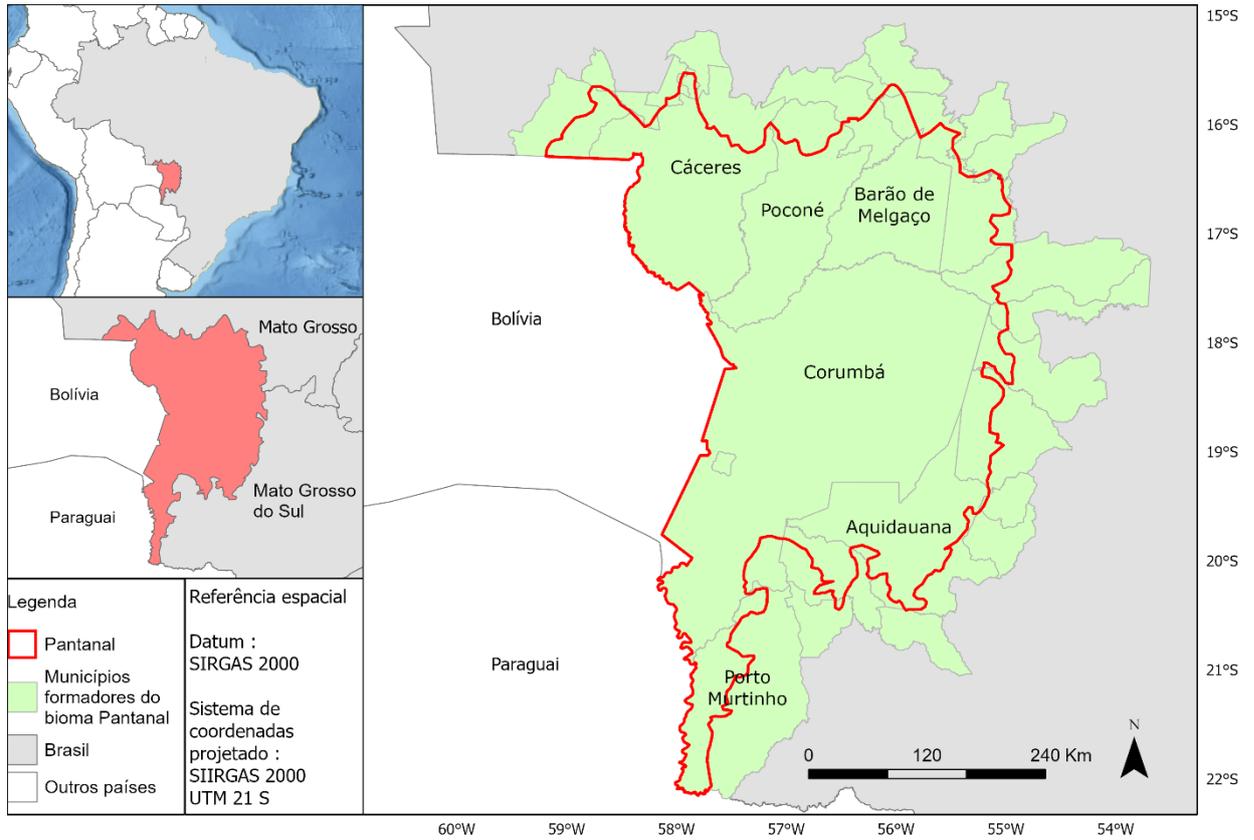
A área de estudo foi o bioma Pantanal brasileiro, localizado nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Figura 2). Sua área aproximada é de 150.355 km², correspondendo a cerca de 1,8% da área total do território brasileiro (ABDON et al., 2006; SANTOS; SCOLASTRICI; MARTINS, 2012). Em relação a altitude, o Pantanal se encontra aproximadamente entre 67 e 1029 metros de acordo com o modelo digital de elevação adquirido no site do exército brasileiro (BGDEX, 2021). O clima é tropical e determinado majoritariamente por 4 diferentes classificações de Koppen (Figura 3) (ALVARES et al., 2013):

- a) Aw – Clima tropical com uma estação seca e chuvas de verão, abrange a maior parte do Pantanal;
- b) Af – Clima tropical úmido;
- c) Am – Clima de monção;
- d) Cfa – Clima temperado úmido com verão quente, configura uma parte muito pequena do total do território.

Inserir informações sobre a precipitação e temperatura média anual da área de estudo

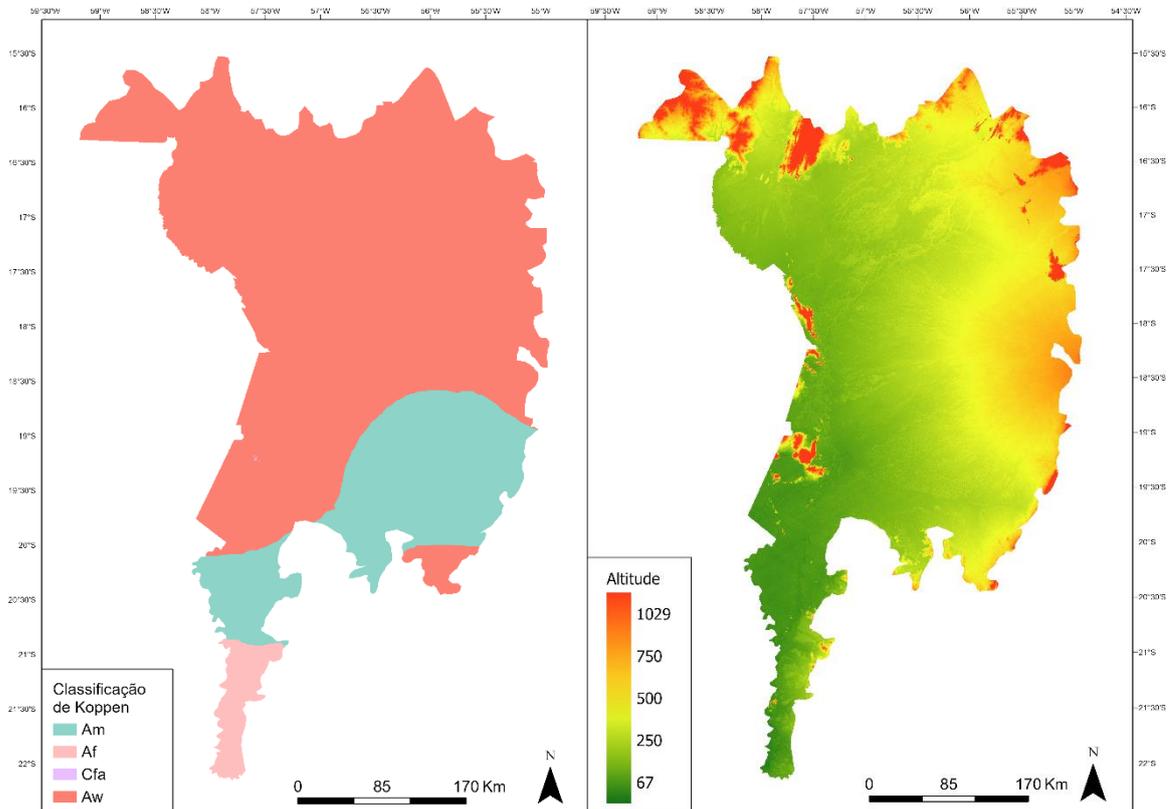
O bioma abrange várias cidades, contudo, 85% da sua extensão é formada somente pelos municípios de Aquidauana, Barão de Melgaço, Cáceres, Corumbá, Poconé e Porto Murtinho, enquanto os demais 15% são compostos por diversas outras cidades somadas.

Figura 2 – Mapa de localização do Pantanal.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 3 – Mapa de altitude e mapa com a classificação climática de Koppen do Pantanal.



Fontes: Alvares et al. (2013) e BDGEX (2021), adaptado pelo autor.

4.2 Base de dados

A base de dados foi constituída de arquivos geoespaciais ou camadas de queimadas, precipitação, e cobertura vegetal, todos recortados para a área de estudo e projetados para a zona UTM (Universal Transversa de Mercator) 21S conforme o sistema de coordenadas SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) 2000, que desde a resolução 01/2005 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) é admitido como o novo referencial geodésico brasileiro (IBGE, 2005).

4.3 Queimadas

Para definição das áreas queimadas foi usado do produto AQ 1km obtidos do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desde 2011 até 2020.

Os dados foram agrupados de duas formas:

- Mensalmente, para formar a série temporal do total mensal de áreas queimadas e do número de polígonos, identificando assim os meses de maior frequência de ocorrência e posteriormente facilitando a análise de relação entre as queimadas e a precipitação.

- Anualmente, com a finalidade de revelar os anos mais afetados pelo fogo.

Para caracterização espacial de recorrência das queimadas foi realizada uma transformação dos polígonos do produto AQ 1km, de 2011 até 2020, em pontos pelo software ArcGis 10.6, com a ferramenta de criação de centroides, as áreas queimadas corresponderam a 9.904 centroides.

A partir dos centroides foi realizado um mapa de densidade de Kernel dividido em 5 classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta; com o intuito de revelar os locais com maior frequência de queimadas ao longo dos anos. A densidade de kernel funciona projetando uma área ao redor de cada ponto amostrado que corresponderia ao raio de influência. Segundo Silverman (apud SOUZA et al.,2013, p.4960), posteriormente é aplicada uma função matemática na posição do ponto e outra na borda da área, onde o valor final é a soma dos valores sobrepostos divididos pela área de influência de cada ponto. A partir desse processo, a visualização de áreas com maior risco de reincidência das queimadas fica relativamente mais fácil de ser observada.

4.4 Clima

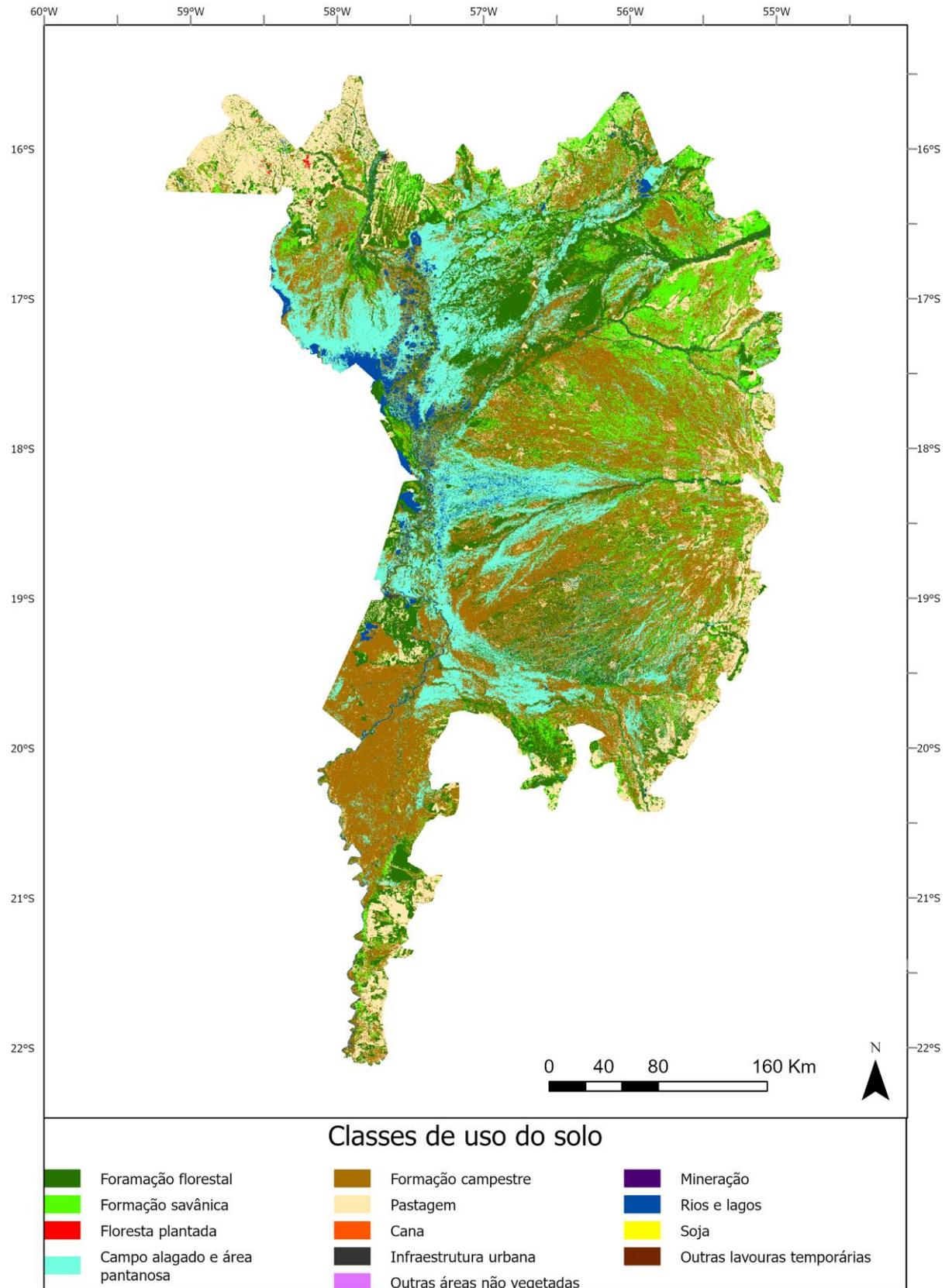
Para a análise do regime pluviométrico, utilizou-se as bases de precipitação mensal disponibilizadas pela CRU (*Climatic Research Unity*) no formato NetCDF. Usando o software ArcGis, converteu-se os dados para GeoTIFF e logo em seguida transformados em *shapefile*, agrupando dados próximos com mesmo valor. Foram estimadas as precipitações mensais com base em uma média ponderada dos valores de precipitação de cada polígono em relação a sua área, esses dados foram agrupados para formação de uma série temporal mensal. Com os mesmos rasters de precipitação foi realizado uma adição dos dados mensais de cada ano, gerando uma matriz de pontos com os valores de precipitação somados. Essa matriz de pontos foi interpolada com a ferramenta IDW (*Inverse Distance Weighed*) a fim de estimar a precipitação anual. Posteriormente, os dados foram agrupados em classes para facilitar a visualização e análise. Metodologia similar foi adotada por outros autores como Pruski et al. (2004) e Monteiro et al. (2020), porém com o uso dos dados de estações pluviométricas e fluviométricas.

O teste de correlação entre as variáveis precipitação e área queimada total foi realizado utilizando o método de Spearman, que pode ser usado não só com dados lineares, quanto também os não lineares, sendo não sensível a assimetrias e nem a valores atípicos, ou seja, sem a necessidade de haver uma distribuição normal (SOUSA, 2019).

4.5 Análise da vegetação afetada

Utilizando os dados do MapBiomas coleção 5.0 obtidos através da plataforma GEE, o pantanal foi dividido em 13 classes com predomínio de formações florestais, savânicas e campestres, campos alagados, áreas pantanosas e pastagens (Figura 4). A classificação foi realizada utilizando imagens dos sensores Landsat TM, ETM+ e OLI-TIRS de 2010, com resolução espacial igual a 30 metros, predominantemente durante a época seca, de maio a agosto, com o objetivo de facilitar a diferenciação entre campos e pastagens, bem como na separação de savanas e formações florestais (MAPBIOMAS, 2019). Em seguida, realizou-se a sobreposição dos polígonos de queimadas nas imagens classificadas para o cálculo da área queimada de cada classe de cobertura da terra por ano, com o auxílio do software ArcGis 10.6.

Figura 4 – Mapa da classificação do uso do solo do Pantanal em 2010.



Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

4.6 Análise por classe de tamanho

A distribuição dos polígonos de queimadas por classe de tamanho foi realizada de forma empírica, com base na resolução espacial de 1 km do produto AQ utilizado (Tabela 2). Essa divisão permite uma análise mais clara da relação frequência x extensão das queimadas, para um estudo mais aprofundado da gravidade das ocorrências do fogo nos últimos 10 anos.

Tabela 2 – Tabela da divisão de classes por tamanho de queimada.

Classes de tamanho	Área queimada (km²)
I	<2
II	2 - 5
III	5 - 40
IV	40 - 200
V	>200

Fonte: Do autor (2021).

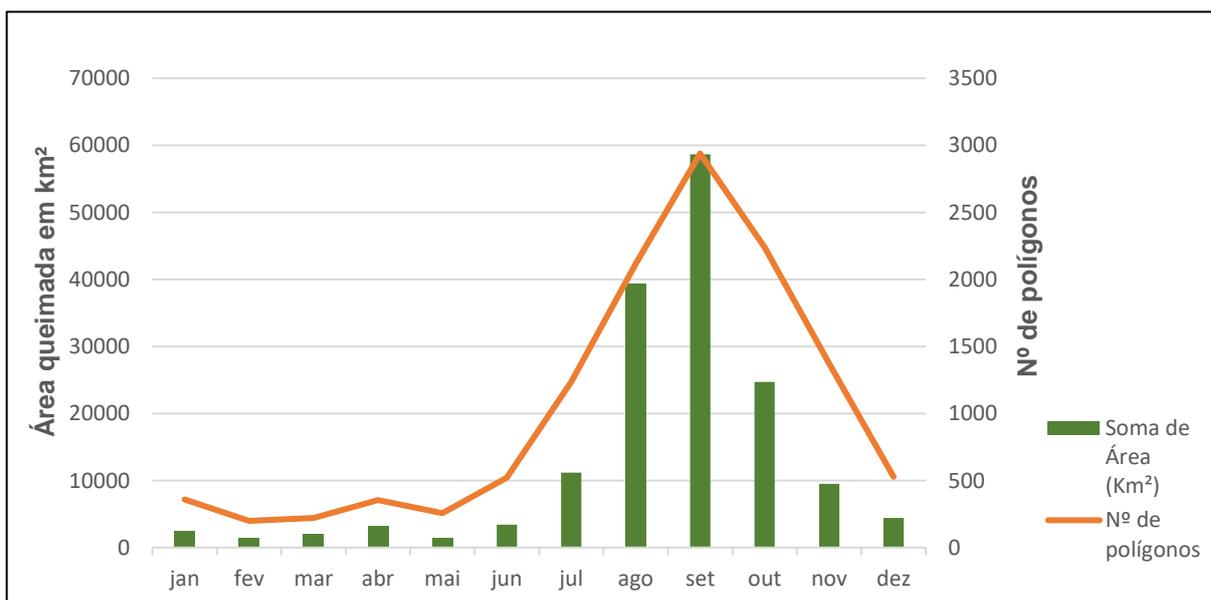
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização temporal

Os dados obtidos do produto AQ 1km de 2011 a 2020 foram analisados e mapeados mensalmente e anualmente com ajuda do software ArcGis e o Excel. O resultado apresentou um total de 12.343 polígonos e 161.644,8 km² de área queimada de 2011 a 2020. Através da análise mensal, observou-se que os maiores valores se encontraram nos meses de junho a novembro, tanto de área queimada como de número de polígonos. No mês de setembro ocorreram os valores mais elevados, com 36,3% da área queimada e 23,8% do número de polígonos (Figura 5).

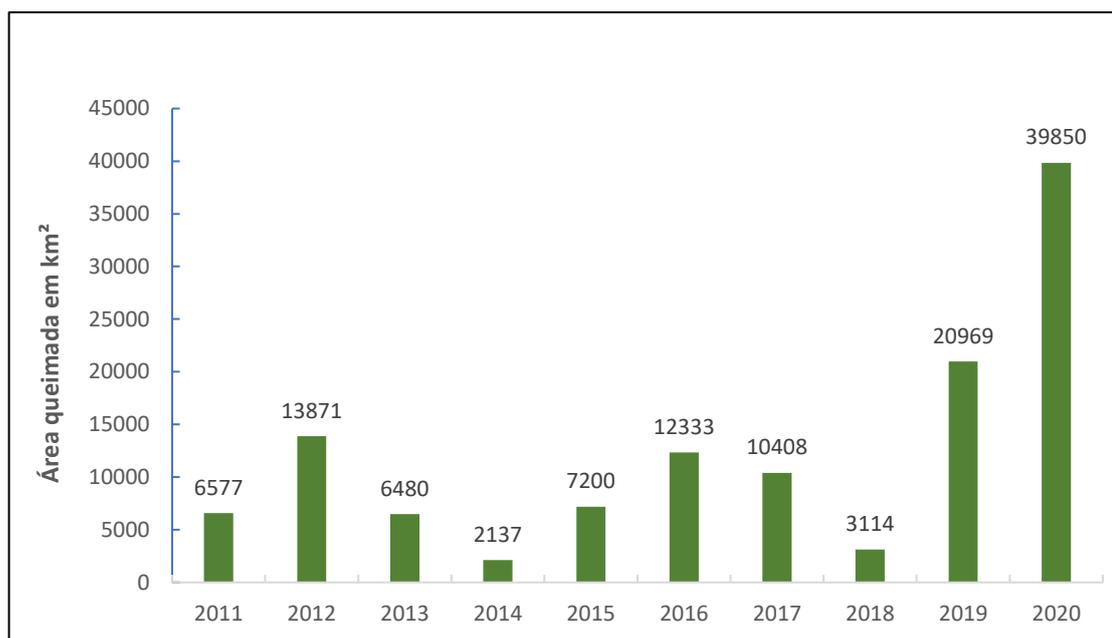
Na análise anual, os anos que mais apresentaram áreas queimadas foram 2020 e 2019, com 39.850 km² e 20.969 km² respectivamente, seguidos de 2012, 2016 e 2017. Os resultados são representados na (Figura 6).

Figura 5 – Gráfico do número de polígonos e área queimada por mês de 2011 a 2020.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 6 – Gráfico de área queimada total por ano.



Fonte: Do autor (2021)

A quantidade elevada de queimadas na época seca leva a premissa de que a origem do fogo não é ocasionada por raios, então supõe-se que a maioria seja de origem antrópica, sendo ela acidental ou não (MORELLI; SETZER; JESUS, 2009). Mesmo com o Decreto Nº 10.424, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), que proibiu o uso de fogo pelo prazo de 120 dias no bioma, o número de polígonos nos meses seguintes foi recorde nos últimos anos, isso reflete a falta de fiscalização e de planejamento para o combate das queimadas.

Os anos de 2019 e 2020 foram os mais críticos, representando 17,05% e 32,41%, respectivamente, do total de área queimada nos 10 anos registrados nesse estudo. Os anos em questão representam juntos quase 50% de toda a área queimada nos últimos 10 anos, o que significa uma grande queima de biomassa e mudança da paisagem, levando a alterações tanto na vegetação como na fauna local. Miranda, Martinho e Carvalho (2021) relatam que o número de focos de calor na bacia do Rio Paraguai na região brasileira, onde encontra-se o bioma Pantanal, aumentou expressivamente nos anos de 2019 e 2020 em relação a 2018. O aumento de quase 13 vezes no valor de área queimada de 2018 para 2020 é um valor impactante, revelando a necessidade de maior fiscalização, visto que a proibição do fogo em 2020 não foi suficiente para que as queimadas tomassem grandes proporções.

A queima da biomassa produz diferentes componentes durante todo o seu processo, liberando na atmosfera todos os materiais combustíveis que estiverem disponíveis. Esses diferentes componentes podem alterar o clima e a qualidade do ar, em escala regional,

diretamente ou indiretamente, podendo ser o início de uma mudança na paisagem (ICHOKU; KAHN; CHIN, 2012). A biomassa quando em combustão, elimina gases do efeito estufa, gases esses que são naturais da atmosfera, absorvendo a radiação emitida pelo Sol e pela Terra, aquecendo o planeta. Contudo, a concentração desses gases tem aumentado com o passar dos anos, e o aumento da queima de biomassa em larga escala é um dos fatores que alteram significativamente esses números, já que esses gases permanecem durante anos na atmosfera e com isso, influenciam o balanço geral de energia e posteriormente, o clima. Queimadas que alteram permanentemente a vegetação e a quantidade de matéria orgânica no solo podem ser tidas como um aumento de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. (CARDOZO et al., 2012)

Os impactos do fogo sobre a fauna podem ser positivos ou negativos, os resultados são diversos, variando de acordo com a adaptabilidade das espécies animais e vegetais, intensidade do fogo, frequência de reincidência e tamanho da área queimada. Os impactos podem ser diretos, como a mortalidade de indivíduos durante a queimada, ou podem ser indiretos, através dos efeitos da mudança da paisagem ao longo dos anos. Os piores efeitos ocorrem com queimadas de grande extensão, que acompanham grandes mudanças de paisagem, maior índice de mortalidade da população faunística e uma maior dificuldade na recolonização dos centros dos polígonos de queimada (CUNHA et al., 2021; MOREIRA et al., 2010). A alteração ambiental causada pela passagem do fogo afeta animais como veados, capivaras e jacarés, devido a sua baixa mobilidade (CHAVES; SOUZA; FREITAS, 2020), bem como a avifauna, mesmo que em menor intensidade, prejudicando principalmente espécies especialistas e beneficiando as generalistas. Isso causa uma alteração na diversidade, podendo até aumentar a riqueza local, porém não significa um impacto positivo, uma vez que as espécies com maior sensibilidade acabam ficando propensas a maiores riscos de extinção (UBAID, 2014).

O fogo geralmente é provocado por produtores rurais, que utilizam a queimada como prática nas atividades agropastoris, e a falta de conhecimento técnico somada a descuidos com o manejo praticado pode acarretar queimadas descontroladas de grande magnitude. Deste modo, é necessário que uma das atividades de prevenção desses eventos seja a educação sobre o assunto, difundindo o conhecimento para as comunidades rurais (MOTHÉ et al., 2020).

5.2 Relação entre queimadas e precipitação

O número de polígonos e a área queimada aumentaram demasiadamente nos meses de julho até setembro, que são justamente os meses de menor precipitação. Diversos estudos relacionam a precipitação com as queimadas graças a sua forte correlação; em locais com época

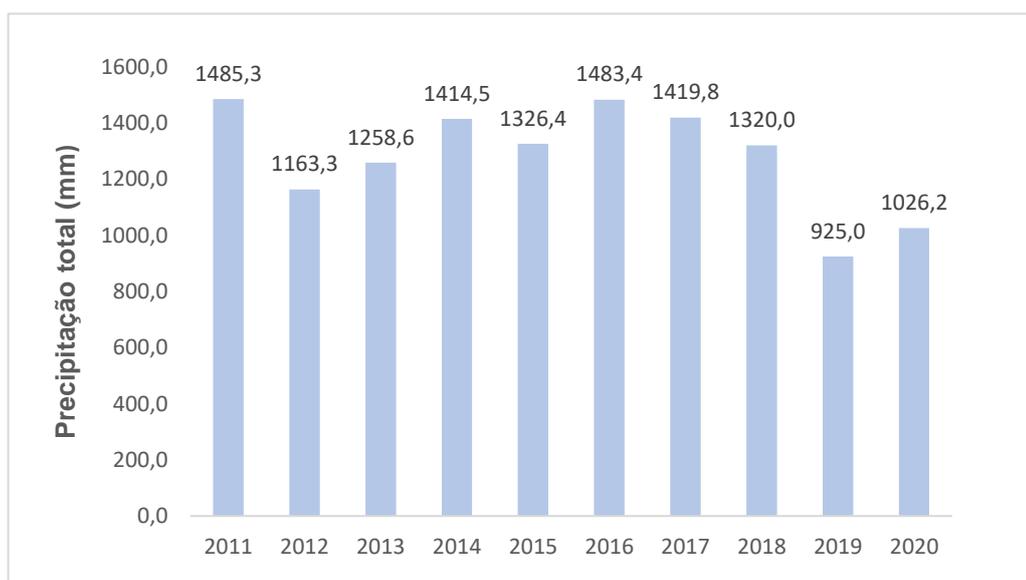
de estiagem bem definida, esse paralelismo se torna mais evidente (MACHADO; SILVA; BIUDES, 2014; PRADO; COSTA, 2015; MATAVELI et al., 2017).

O resultado do teste de Spearman foi significativo, apresentando correlação negativa com valor de P igual a 0.0001 e valor de ρ (rô) igual a -0.8811, demonstrando a existência de correlação inversamente proporcional entre a área queimada e a precipitação. O teste realizado para o número de polígonos em relação a precipitação também foi significativo e registrou ρ de -0.86. Esse resultado significa que quando os valores de precipitação abaixam, os valores de área queimada tendem a aumentar.

A análise das precipitações médias anuais, indicou um decréscimo relevante do volume de chuva nos anos de 2019 e 2020, apresentando os menores valores dentre os anos observados, 925mm e 1026,2mm respectivamente (Figura 7). Considerando a correlação negativa entre as variáveis, pode-se entender que os baixos valores de precipitação foram um fator importante para o aumento do número de queimadas.

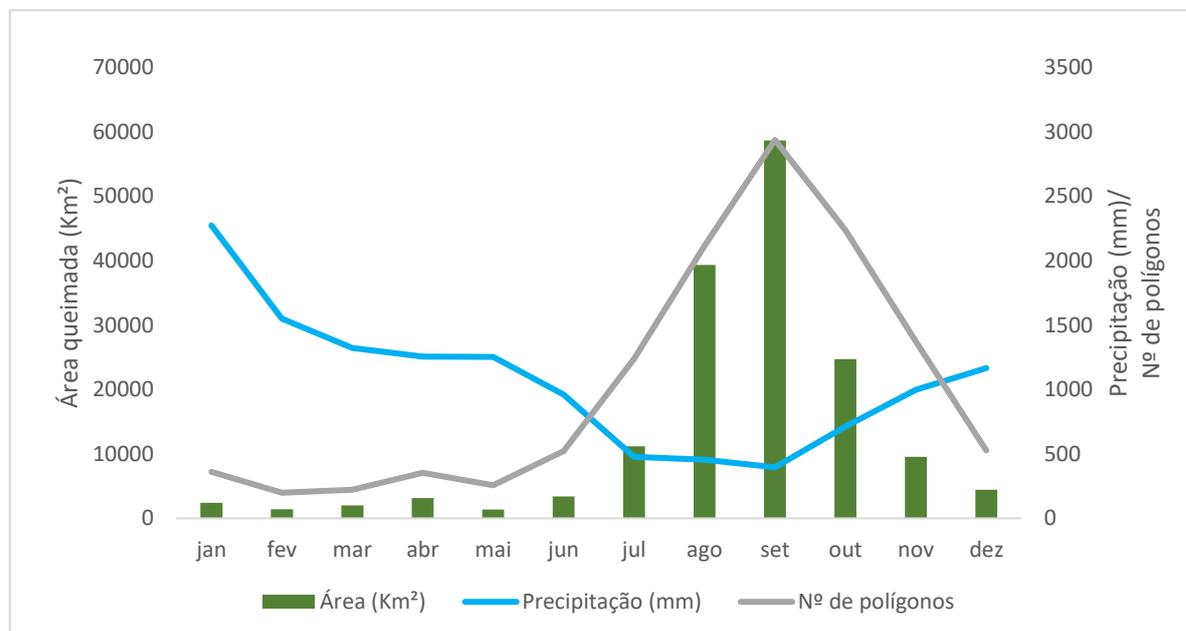
A comparação realizada entre o regime de chuva e as queimadas nos últimos 10 anos, expressa na Figura 8, mostrou que durante os meses em que a precipitação foi menor (julho a setembro) ocorreu um aumento da área queimada, e logo quando a precipitação voltou a subir, os valores de área queimada e número de polígonos diminuíram, retratando o que foi revelado pela correlação de Spearman.

Figura 7 – Gráfico de precipitação média anual estimada.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 8 – Gráfico da relação entre precipitação, área queimada e número de polígonos.

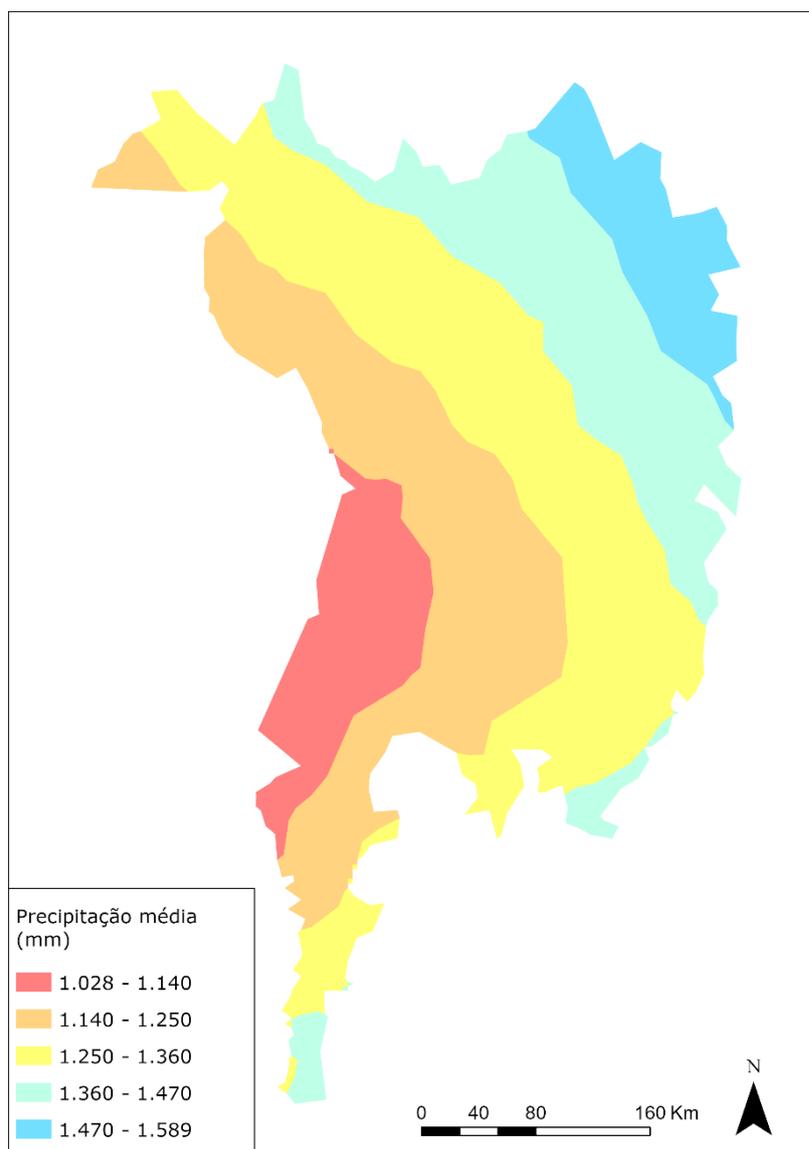


Fonte: Do autor (2021).

É possível observar que no mês de julho, apesar dos baixos valores de precipitação, os valores de área queimada não são elevados; Tendência similar ocorre no mês de outubro, que apesar da sua precipitação ser maior do que no mês de julho, sua área queimada também foi maior. Segundo White e Ribeiro (2011), esse acontecimento pode ser devido a umidade no material combustível, que no mês de julho ainda está alta, pois vem de uma sequência de regime de chuva dos meses anteriores. Já no mês de outubro, a precipitação pode não ter sido suficiente para umedecer o material comburente a ponto de evitar uma queima. Outros fatores não apresentados no estudo, como a umidade relativa, temperatura e velocidade dos ventos, podem ser significativos para tal fato.

A média dos últimos 10 anos revela que existe uma diferença no regime hídrico entre as regiões do Pantanal, na Figura 9 é demonstrada essa diferença através da divisão das regiões em classes de acordo com a precipitação média estimada. A demarcação dessas classes permite uma análise da relação espacial dos polígonos de queimada e a quantidade precipitada. (Tabela 3).

Figura 9 – Mapa de precipitação média entre 2011 e 2020.



Fonte: Do autor (2021).

Tabela 3 – Tabela de análise da relação dos polígonos de queimadas com a precipitação média.

Classes	Precipitação média (mm)	Nº de polígonos	Área (km)	Nº de Polígonos/km ²	Nº de polígonos (%)
Muito baixa	1094,42	1624	15.302,02	0,106	16,59
Baixa	1206,23	2503	39.318,28	0,064	25,57
Média	1294,99	2935	52.597,83	0,056	29,98
Alta	1387,06	1844	31.606,39	0,058	18,84
Muito alta	1512,06	884	12.170,24	0,073	9,03

Fonte: Do autor (2021).

Apesar dos resultados mostrarem que a classe de menor precipitação tem o segundo menor valor percentual do total de polígonos, a proporção de polígonos de queimadas em relação ao tamanho da área indica que a região tem o maior número de polígonos por km²,

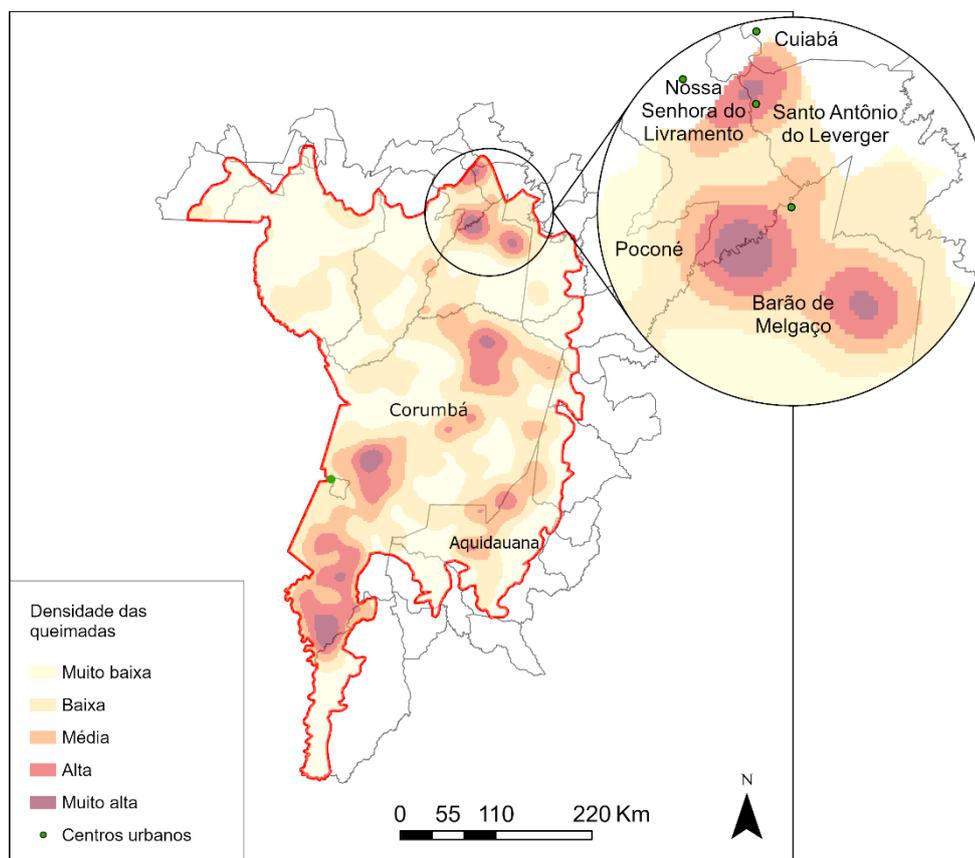
0,106. A comparação das classes quanto ao percentual de polígonos aponta que aproximadamente 42,16% dos polígonos se encontram nas duas classes de precipitação mais baixas, 27,87% estão localizados nas classes Alta e Muito alta e 29,98% na classe intermediária. Estes dados revelam que a frequência de queimadas ao longo dos anos nas áreas com menor precipitação é maior e provavelmente ligada aos baixos níveis de pluviosidade.

Apesar da precipitação não ser o único fator que influencia na ocorrência de queimadas, tem forte correlação com o fato, como apresentado anteriormente, e definitivamente deve ser levada em consideração nos estudos e análises sobre o comportamento do fogo.

5.3 Caracterização espacial

O mapa de densidade de Kernel das queimadas apresenta as reincidências de maior frequência com as cores mais escuras, destacando os locais com maior ocorrência de queimadas entre os anos de 2011 e 2020 (Figura 10). Observa-se uma área grande com manchas mais escuras concentrada próxima ao município de Corumbá, que abrange uma grande parte no centro do Pantanal, sendo que duas manchas maiores estão localizadas mais ao sul da cidade e uma outra se situa mais ao norte. Além de Corumbá, existe uma porção a nordeste do Pantanal onde se encontram as cidades de Barão do Melgaço, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio do Leverger e uma pequena parte de Cuiabá, que apresenta três manchas próximas, indicando grande ocorrência de queimadas ao longo dos anos. Existe também uma mancha na divisa entre Aquidauana e Corumbá de menor extensão do que as outras.

Figura 10 – Mapa de densidade de queimadas de Kernel de 2011 a 2020 no Pantanal.



Fonte: Do autor (2021).

A elevada ocorrência de queimadas próximas de centros urbanos, como na região de Corumbá e também na porção nordeste do pantanal, aumenta a chance de impactos diretos e indiretos como uma possível questão de saúde, visto que as queimadas liberam poluentes como óxidos de nitrogênio (Nox), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), material particulado e outros elementos tóxicos, variando de acordo com as características do clima local, do material comburente, entre outros fatores bióticos e abióticos. Essa mistura de substâncias, quando em contato com pessoas, pode acarretar problemas de saúde, problemas esses que se agravam dependendo da proximidade dos indivíduos com a queimada. Os principais afetados são os voluntários e bombeiros, que se dispõem na linha de frente do combate ao fogo, entretanto, se a mistura de substâncias se encaminhar para zonas urbanas, aumentam as chances de a população também ser prejudicada (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

O mapa de Kernel foi eficiente para detectar os locais com maior frequência podendo ser agregado a um estudo de risco de queimadas na região, é usado por pesquisadores de diversos lugares para caracterizar espacialmente o fogo (MARQUES; SOBRINHO, 2020; SORIANO et al., 2019; RODRIGUES; IGNOTTI; HACON, 2013; MATOS, 2014; KOUTSIAS; BALATSOS; KALABOKIDIS, 2014). Os lugares demarcados com a cor mais

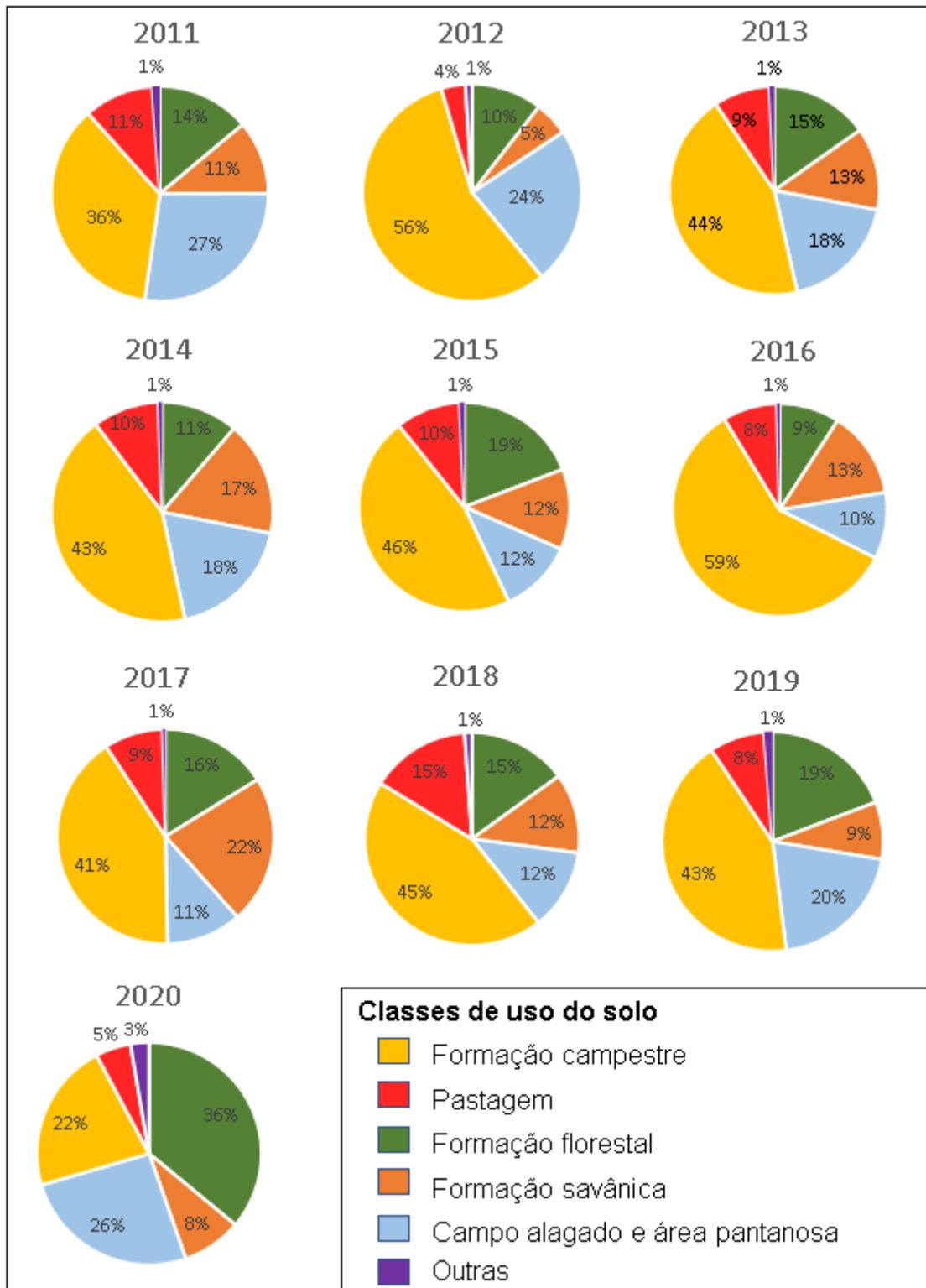
escura retratam que a reincidência da queimada ocorreu quase que todos os anos, podendo ser utilizado como parte de um plano de combate a futuras queimadas e impedir que tomem proporções grandiosas como no ano de 2020, diminuindo os danos que podem ser permanentes ao bioma.

5.4 Cobertura vegetal afetada pelo fogo

O resultado da análise realizada está descrito na Figura 11, as classes que não apresentaram valores significativos não foram apresentadas. Vegetações naturais foram as mais atingidas nos anos analisados, com altos percentuais perante as outras classes.

O resultado para 2019 (segundo ano com maior área total queimada) do percentual de vegetação afetada foi de 43% para Formações Campestres, 21% para Campos Alagados e Área Pantanosa, 19% para Formações Florestais. Essas três classes detêm 83% de toda a área queimada no ano e são seguidas de Formação Savânica e Pastagem, com 9% e 8% respectivamente. Em 2020, ano com maiores valores de área queimada, o fogo continuou afetando as mesmas classes do ano de 2019, porém com maiores percentuais nas classes Campo alagado e área pantanosa (27%) e Formação Florestal (37%).

Figura 11 – Gráficos de área queimada por classe de cobertura do solo de 2011 a 2020.



Fonte: Do autor (2021).

A formação campestre foi a mais afetada pelo fogo, exibindo os maiores valores de 2011 a 2019, entretanto, em 2020 as classes de Formação florestal e Campo alagado e área pantanosa

apresentaram porcentagens maiores de área queimada. O fogo, podendo ser de origem natural ou não, faz parte da formação campestre e savânica há muitos anos, seja na estruturação da vegetação ou no auxílio com a ciclagem de nutrientes (PIVELLO; COUTINHO, 1992). Porém, as ocorrências de queimadas em uma região podem acarretar a perda de biomassa vegetal, ainda mais se a frequência dos eventos for alta. Isso pode acontecer devido ao pouco tempo para as espécies se recuperarem por completo ou a ponto de sobreviver a outro avanço do fogo, mesmo que sejam dependentes dele como processo natural (HOFFMANN et al., 2009). A retirada completa do fogo das formações campestres também não retrata um cenário ideal, já que é um processo natural desse tipo de vegetação, de forma que sem esse processo a mudança na flora nativa ocorre gradativamente para uma substituição por formações florestais, mudanças essas que atingem também a fauna (ABREU et al., 2017).

Outra vegetação muito atingida foi Campo Alagado e Áreas Pantanosas, identificada em torno de 22% do total, tanto em 2020 como em 2019, um dos motivos desses valores pode ser a localização dessa vegetação, 66% da sua área se encontra dentro das 2 regiões com menor precipitação definidas nos itens anteriores deste trabalho (Figuras 4 e 9). Apesar da vegetação ter uma boa recuperação pós-fogo e da intensidade do fogo ser menor, dado que a disponibilidade de água no solo costuma ser maior que em outras regiões, o controle dessas queimadas deve ser realizado o mais cedo possível, com o intuito de evitar o alastramento para outras vegetações próximas, com risco de um porcentual de material seco mais elevado, significando a existência de uma probabilidade maior na quantidade de comburentes e um risco de intensificação do fogo, aumentando a dificuldade do combate (SCHMIDT et al., 2017).

Nesse contexto, o estudo do fogo para os tipos de vegetação atingidos se faz necessário para o entendimento ecológico das suas funções dentro do ecossistema. O controle de queimadas é de grande importância para manter a estrutura vegetal, faunística e do solo, visto que a presença frequente de queimadas ou retirada do fogo do sistema pode ocasionar mudanças indesejadas na composição geral.

5.5 Classificação das queimadas por classe de tamanho

A análise do agrupamento em classe de tamanho e sua separação por anos mostra que o ano de 2020 tem a maior quantidade de polígonos, superando os outros anos em todas as classes, chegando a apresentar 42 polígonos de queimadas de 200 km, o dobro se comparado a 2019, ano que aparece com o segundo maior valor (23 polígonos), seguido de 2012 com 17 polígonos (Tabela 4). Em relação a quantidade de queimadas por classe de tamanho, as classes que

concentram os maiores números são I e II, com 35,66% na classe I (menores de 2 km²) e 34,55% na classe II (entre 2 e 5 km²). As duas classes de maior tamanho (IV e V) tiveram as menores porcentagens como era de se esperar, contudo, o número de polígonos nas maiores classes reflete os anos com maiores queimadas, mostrados na tabela como 2020 e 2019 (Tabela 5).

Tabela 4 – Divisão das classes de tamanho de polígonos de queimadas por ano.

Ano	Tamanho (km ²)					Total
	I (<2)	II (2 - 5)	III (5-40)	IV (40 - 200)	V (>200)	
2011	407	377	256	32	5	1077
2012	457	365	297	47	17	1183
2013	329	334	238	37	2	940
2014	116	180	124	6	0	426
2015	385	427	291	31	8	1142
2016	535	510	355	50	6	1456
2017	339	426	310	47	6	1128
2018	141	221	157	14	0	533
2019	671	662	503	82	23	1941
2020	1022	763	569	123	42	2519

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 5 – Quantificação dos polígonos de queimada por classe de tamanho no período de 2011 a 2020.

Classe (Km ²)	Nº de polígonos	Nº de polígonos (%)
I (<2)	4402	35,66
II (2 - 5)	4265	34,55
III (5-40)	3100	25,11
IV (40 - 200)	469	3,80
V (>200)	109	0,88

Fonte: Do autor (2021).

Queimadas maiores são mais complicadas de serem controladas, devido a sua grande frente de fogo que podem chegar a abranger vastas extensões, fazendo-se necessário um maior número de pessoas e equipamentos, inclusive auxílio aéreo para o combate em todos os pontos fundamentais (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016). Tendo isso em vista, o controle deve ser realizado, se possível, quando ainda estão menores e mais localizadas.

6. CONCLUSÃO

As queimadas no bioma Pantanal ganharam força nos dois últimos anos analisados (2019 e 2020), com área queimada somada aproximadamente igual aos outros 8 anos juntos. Esses números se correlacionam inversamente com a precipitação média da região, onde nos meses e anos de menor quantidade precipitada os valores de área queimada se elevaram.

A espacialização das queimadas mostra uma proximidade com centros urbanos, podendo ser originárias de atividades antrópicas na região e levando risco a saúde da população.

Levando em consideração agrupamento das queimadas em classes de tamanho, analisou-se que a maioria das queimadas se mantém nas classes de menor tamanho, entretanto, a quantidade de queimadas nas classes de maior extensão apresentou um acréscimo desproporcional nos dois anos mais críticos.

Os lugares mais afetados pelas queimadas devem ser alvos de planos de prevenção e combate ao fogo bem formulados, considerando que as ocorrências foram mais frequentes no período analisado.

REFERÊNCIAS

- ABDON, M. de M. et al. **Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro - RJ, v. 59, n. 1, p. 17-24, 2007.
- ABDON M. de M. et al. **Análise do desmatamento no bioma Pantanal até o ano de 2002.** In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2006, Campo Grande. Anais... Campo Grande: INPE, p. 293–301, 2006.
- ABREU, R. C. R. et al. **The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna.** Science advances, v. 3, n. 8, p. 1-8, 2017.
- ALVARES, C.A. et al. **Köppen’s climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDERSON, L. O. et al. **Development of a point-based method for map validation and confidence interval estimation: a case study of burned areas in Amazonia.** Journal of Remote Sensing & GIS, v. 6, n. 1, p. 193, 2017.
- BDGEX – Banco de Dados Georreferenciados do Exército Brasileiro, acessado em 11/03/2021 através do link:
<<https://bdgex.eb.mil.br/mediador/index.php?modulo=pesquisarproduto&acao=formularioPesquisaTextual>>.
- BRASIL. Decreto nº 10.424, de 15 de julho de 2020. Determina a suspensão da permissão do emprego do fogo de que trata o Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998, no território nacional pelo prazo de cento e vinte dias. Diário Oficial da União, seção 1, p. 9, 2020. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/legislacao>>.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>.
- CARDOZO, F. da S. et al. **Estimativa do impacto das queimadas e emissão dos gases do efeito estufa no Bioma Pantanal em 2010.** In: 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Bonito - MS. Anais ... Bonito: INPE, p. 657-666, 2012.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N. **Mapeamento de Três Decênios da Precipitação Pluviométrica Total e Sazonal no Bioma Pantanal.** In: III Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2010, Cáceres - MT. Anais III Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Corumbá - MS: EMBRAPA, v. 1, p. 84-94, 2010.
- CHAVES, T. P.; SOUZA, S. M.; FREITAS, A. C. de. **Pantanal, tudo fica bem quando o fogo se apaga?.** Revista Sustinere, v. 8, n. 2, p. 592-606, 2020.
- CUNHA, I. L. D. et al. **Brasilia tapaculo (Scytalopus novacapitalis) seasonality and site occupancy in altitudinal riparian environments after non-natural burnings and feral pig invasion in Serra da Canastra National Park, Brazil.** Brazilian Journal of Biology, v. 81, p. 278–284, 2021.
- DUARTE, M. H. L. et al. **Changes on soundscapes reveal impacts of wildfires in the fauna of a Brazilian savanna.** Science of The Total Environment, v. 769, p. 144988, 2021.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; ANDRADE, J. C. de. **Desenvolvimento do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: Inpe, 2011.

FLORES, B. C.; ORNELAS, É. A.; DIAS, L. E. **Fundamentos de Combate a Incêndio – Manual de Bombeiros.** Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia - GO, 1. ed., 150 p., 2016.

FRAGAL, E. H.; GASPARETTO, N. V. L. **Análise comparativa de dados e produtos de sensoriamento remoto com resolução espacial moderada para detecção de áreas queimadas no parque nacional de ilha grande entre 2007 e 2009.** Boletim Goiano de Geografia, v. 37, n. 2, p. 282-301, 2017.

FRIZZO, T. L. M. et al. **Uma revisão dos efeitos do fogo sobre a fauna de formações savânicas do Brasil.** Oecologia Australis, v. 15, n. 2, p. 365-379, 2011.

GIGLIO, L. et al. **The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product.** Remote Sensing of Environment, v. 217, p. 72–85, 2018.

GORELICK, N. et al. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** Remote Sensing of Environment, v. 202, p. 18–27, 2017.

HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. **Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing.** Archiv für Hydrobiologie, v. 137, n. 1, p. 1–23, 1996.

HOFFMANN, W. A. et al. **Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil.** Ecology, v. 90, n. 5, p. 1326-1337, 2009.

IBGE. Resolução e PR nº 01, de 25-02-2005. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005.

ICHOKU, C.; KAHN, R.; CHIN, M. **Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling.** Atmospheric Research, v. 111, p. 1–28, 2012.

INPE – Programa queimadas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Acessado em 12/05/2021 através do link: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/>>.

JESUS, F. de.; LIMA, S. F. **Plano de manejo:** Parque Nacional do Pantanal Matogrossense. Brasília, 505 p., 2003.

JUNK, W. J. et al. **Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil.** Aquatic Sciences, v. 68, n. 3, p. 278–309, 2006.

JUSTICE, C. O. et al. **An overview of MODIS Land data processing and product status.** Remote Sensing of Environment, v. 83, n. 1, p. 3–15, 2002.

KNICKER, H. **How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review.** Biogeochemistry, v. 85, n. 1, p. 91-118, 2007.

KOUTSIAS, N.; BALATSOS, P.; KALABOKIDIS, K. **Fire occurrence zones: kernel density estimation of historical wildfire ignitions at the national level, Greece.** Journal of Maps, v. 10, n. 4, p. 630-639, 2014.

KUMAR, L.; MUTANGA, O. **Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential.** Remote Sensing, v. 10, n. 10, p. 1509, 2018.

LIBONATI, R. et al. **An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 µm MODIS imagery.** Remote sensing, v. 7, n. 11, p. 15782-15803, 2015.

MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P. da.; BIUDES, M. S. **Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil.** Ciência e Natura, v. 36, n. 3, p. 459-469, 2014.

MAPBIOMAS. Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 10/02/2021 através do link: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR>.

MAPBIOMAS. Relatório Anual do Desmatamento do Brasil, Pantanal - Appendix. Collection 5, version 1, 2019. Acessado em 11/02/2021 através do link: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Pantanal_Appendix_-_ATBD_Col5_v1.pdf>

MARQUES, R. J.; SOBRINHO, W. F. R. da C. **Detecção das ocorrências de focos de queimadas e produção de mapas de calor em Timon, MA.** Revista Geonorte, v. 11, n. 37, p. 210-228, 2020.

MATAVELI, G. A. V. et al. **Análise das queimadas e da precipitação em áreas de Cerrado do Maranhão a partir de dados do sensor MODIS e do satélite TRMM para o período 2002-2015.** Boletim Paulista de Geografia, n. 96, p. 11-30, 2017.

MATOS, N. M. de. **Incêndios florestais no bioma pantanal: dinâmica espacial e temporal entre 2003 e 2013.** 2014. 107 p. Projeto de pesquisa (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MATOS, R. C. de M.; CANDEIAS, A. L. B. **Uso de imagens MODIS no mapeamento de bacias hidrográficas.** 2009. 98 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MARTINS, R. C. et al. **Definição de zonas de manejo por índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto e mapas de produtividade.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. p.61, 2017.

MAURO, R. **Estudos faunísticos na EMBRAPA Pantanal.** Archivos de zootecnia, v. 51, n. 193, 19 p., 2002.

MENESES, P. R. et al. **Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto.** Brasília, Universidade de Brasília, 2012.

MIRANDA, E. E. de.; MARTINHO, P. R. R.; CARVALHO, C. A. de. **Dinâmica de queimadas e incêndios na bacia do rio Paraguai e no Pantanal (2018 e 2020).** Embrapa Territorial: Campinas, p. 1-27, 2021.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, c2021. Acesso em: 15/01/2021 através do link: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/pantanal.html>>.

MONTEIRO, R. G. et al. **Espacialização da precipitação pluviométrica média anual da bacia hidrográfica do Rio Corrente, Bahia.** Enciclopédia Biosfera, v. 17, n. 33, 2020.

MOREIRA, F. et al. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidadas**. Lisboa, Isapress, 323 p., 2010.

MORELLI, F.; SETZER, A.; JESUS, S. C. de. **Focos de queimadas nas unidades de conservação e terras indígenas do Pantanal, 2000-2008**. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009, Corumbá. Anais... Corumbá, p. 7-11, 2009.

MOTHÉ, Rafael et al. **One Health pela perspectiva da saúde ambiental: incêndios florestais**. Enciclopédia Biosfera, v. 17, n. 34, 2020.

MOUILLOT, F. et al. **Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing — A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 26, p. 64–79, 2014.

MUTANGA, O.; KUMAR, L. **Google earth engine applications**. Remote Sensing, v. 11, n. 5, p.591, 2019.

PENHA, T. V. **Deteção de áreas queimadas na Amazônia utilizando imagens de media resolução especial, técnicas de GEOBIA e mineração de dados**. Dissertação de mestrado. INPE, São José dos Campos. p. 139, 2018.

PEREIRA, A. A. et al. **Avaliação de nove índices espectrais quanto a separabilidade entre queimadas e diferentes alvos**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 17, p. 3105-3112, 2015.

PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. **Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna)**. Journal of tropical ecology, v. 8, n. 4, p. 487-497, 1992.

POTT, A. **Dinâmica da vegetação do Pantanal**. Tópicos atuais em Botânica. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia/Sociedade Botânica do Brasil, p. 172-182, 2000.

POTT, A. et al. **Plant diversity of the Pantanal wetland**. Brazilian Journal of Biology, v. 71, p. 265–273, 2011.

POTT, A.; POTT, V. J. **Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland**. Wetlands Ecology and Management, v. 12, n. 6, p. 547–552, 2004.

PRADO, N. V.; COSTA, S. S. da. **Relação da Precipitação, Queimadas e Aerossóis no estado do Mato Grosso com ênfase em dados de Satélite no período de 2000-2012**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa – PB. Anais ... João Pessoa: INPE, p. 6882-6888, 2015.

PRUSKI, F. F. et al. **Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 8, n. 2-3, p. 247-253, 2004.

REDIN, M. et al. **Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo**. Ciência Florestal, v. 21, p. 381–392, 2011.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. de. **Efeitos das queimadas na saúde humana**. Estudos avançados, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.

RODRIGUES, C. A. G.; CRISPIM, S. M. A.; COMASTRI FILHO, J. A. **Queima controlada no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 23 p., 2002.

RODRIGUES, P. C. de O.; IGNOTTI, E.; HACON, S. de S. **Distribuição espaço-temporal das queimadas e interações por doenças respiratórias em menores de cinco anos de idade em Rondônia, 2001 a 2010**. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 22, n. 3, p. 455-464, 2013.

ROY, D. P.; BOSCHETTI, L.; SMITH, A. M. S. **Satellite Remote Sensing of Fires**. In: *Fire Phenomena and the Earth System*. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd. p. 77–93. 2013.

ROY, D. P.; LEWIS, P. E.; JUSTICE, C. O. **Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data** — A bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote sensing of environment*, v. 83, n. 1-2, p. 263-286, 2002.

SANTOS, C. P. F. dos.; SCOLASTRICI, A. dos S. S.; MARTINS, F. da S. R. V. **Mapas representativos de estoque de carbono na vegetação e nos solos do bioma Pantanal**. In: 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Bonito – MS. Anais ... Bonito: INPE, p. 629 -638, 2012.

SCHEPERS, L. et al. **Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX)**. *Remote Sensing*, v. 6, n. 3, p. 1803–1826, 27 fev. 2014.

SCHMIDT, I. B. et al. **How do the wets burn? Fire behavior and intensity in wet grasslands in the Brazilian savanna**. *Brazilian Journal of Botany*, v. 40, n. 1, p. 167-175, 2017.

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*, v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019.

SILVA, M. P. da. et al. **Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo**. *Revista brasileira de Botânica*, v. 23, n. 2, p. 143-152, 2000.

SORIANO, B. M. A. et al. **Distribuição espaço-temporal dos focos de calor no Pantanal brasileiro**. In: *Embrapa Pantanal - Resumo em anais de congresso. Biodiversidade Brasileira*, v. 1, p. 218, 2019., 2019.

SOUSA, Á. **Coefficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman: o que medem e em que situações devem ser utilizados?**. *Correio dos Açores*, 19 p., 2019.

SOUZA, N. P. de. et al. **Aplicação do Estimador de Densidade kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu – PR, v. 16, p. 4958-4965, 2013.

UBAID, F. K. **Efeitos do fogo sobre comunidades de aves no Pantanal Mato-Grossense**. 2014. 115 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências de Botucatu, 2014.

WANG, S. D.; MIAO, L. L.; PENG, G. X. **An Improved Algorithm for Forest Fire Detection Using HJ Data**. *Procedia Environmental Sciences*, v. 13, p. 140–150, 2012.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. de S. **Análise da precipitação e sua influência na ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe**,

Brasil. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 6, n. 1, p. 148-156, 2011.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. **Queimadas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015.** FLORESTA, [S.l.], v. 46, n. 4, p. 561-570, 2016.

XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. da S. R. V.; SANTOS, J. R. dos. **Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon.** Forest Ecology and Management, v. 294, p. 97–106, 2013.

YUAN, C.; ZHANG, Y.; LIU, Z. **A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques.** Canadian Journal of Forest Research, v. 45, n. 7, p. 783–792, 2015.