

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAYLE CRISTINA PEREIRA LOPES

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DOS FOCOS DE CALOR NA BACIA DO ALTO
PARAGUAI NO PANTANAL MATO-GROSSENSE, NO
PERÍODO DE 2016-2020

CURITIBA

2021

THAYLE CRISTINA PEREIRA LOPES

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DOS FOCOS DE CALOR NA BACIA DO ALTO
PARAGUAI NO PANTANAL MATO-GROSSENSE, NO
PERÍODO DE 2016-2020

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de MBA em Gestão Ambiental, Setor de Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador(a) Prof(a). Dr(a). Bruna Nascimento de Vasconcelos

CURITIBA

2021

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DOS FOCOS DE CALOR NA BACIA DO ALTO
PARAGUAI NO PANTANAL MATO-GROSSENSE, NO
PERÍODO DE 2016-2020.

Thayle Cristina Pereira Lopes

RESUMO

O Pantanal é um dos biomas que mais tem sofrido com as queimadas, principalmente pelas suas características ambientais. Diante dessa situação este trabalho buscou analisar a distribuição espaço temporal dos focos de calor e incêndios recorrentes no pantanal mato-grossense (Bacia do Alto Paraguai) no período de 2016 a 2020, através do Programa Queimadas e Incêndios Florestais, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Após a aquisição dos dados, eles foram tratados e gerou-se dois tipos de mapas, os de distribuição de focos de calor e os de densidade espacial dos focos, através do método de densidade de Kernel que analisou o comportamento padrão dos focos de calor na região de estudo. O resultado demonstrou que 2020 foi o ano com maior ocorrência de focos de calor entre os anos de estudo, totalizando 484.172 mil focos, também se identificou que no período de seca (julho, agosto e setembro) ocorreram os maiores índices dos focos de calor, sendo o mês de setembro, destaque em detecções, 39,15% (219.974 focos) do total no estudo. Além disso, foi possível constatar, através dos mapas de densidade de Kernel, que os locais mais afetados foram os municípios de Poconé, Barão de Melgaço e Cáceres. Este tipo de análise visou identificar quais os locais que anualmente são mais afetados pelas queimadas.

Palavras-chave: Queimada; Pantanal; Mato Grosso; Focos de Calor.

ABSTRACT

The Pantanal is one of the biomes that has suffered the most from burning, mainly due to its environmental characteristics. In view of this situation, this research sought to analyze the temporal space distribution of the sources of heat and recurrent fires in the Pantanal mato-grossense (Upper Paraguay Basin) in the period from 2016 to 2020, through the Program Burns and Forest Fires, made available by the National Institute for Space Research (INPE). After the acquisition of the data, they were treated as two types of maps, those of distribution of hot spots and those of spot density, through the Kernel density method that analyzed the standard behavior of the hot spots in the region of study. The result showed that 2020 was the year with the highest occurrence of hot spots among the years of study, totaling 484,172 thousand hot spots, it was also identified that in the dry season (July, August and September) the highest rates of hot spots occurred, being the month of September, spotlight in detections, 39.15% (219,974 outbreaks) of the total in the study. In addition, it was possible to verify through the Kernel density maps that the most affected places were in the municipalities of Poconé, Barão de Melgaço and Cáceres. This type of analysis specialized in identifying the places that are most affected by fires.

Keywords: Burned; Pantanal; Mato Grosso; Heat Spotlights.

1 INTRODUÇÃO

O bioma do Pantanal mato-grossense faz parte de uma extensa planície de áreas úmidas contínuas localizado na América do Sul, estando inserido na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, na região Centro-Oeste do Brasil (Brasil, 1974). Este bioma possui características únicas, e em função da sua imensurável diversidade ecológica, foi considerado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), Patrimônio Natural Mundial e Reserva da Biosfera.

Aproximadamente 35% do bioma Pantanal está inserido em Mato Grosso, nas áreas que constituem as planícies, locais onde estão presentes as nascentes dos principais rios da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP). Esse bioma é regido pela dinâmica do ciclo das águas, ou seja, pela captação, armazenamento e distribuição das águas, através do comportamento hidrológico.

As maiores ameaças a integridade do bioma Pantanal e da BAP tem sido as ações antropogênicas dos últimos anos, principalmente, pelas práticas de remoção de cobertura vegetal de forma generalizada, desmatamento, queimadas, pecuária extensiva, agricultura, pesca e ações culturais desta região.

Dentre elas, as queimadas representam uma ameaça ambiental com efeitos que vão desde a perda da biodiversidade à redução ou eliminação da biomassa na superfície terrestre, trazendo como consequências, impactos nos processos físicos, químicos e biológicos da superfície terrestre e no sistema climático.

Segundo Pereira et al. (2009), as queimadas no bioma Pantanal são causados por processos antrópicos e naturais. As ações antrópicas iniciam-se pelo uso do fogo como ferramenta para atingir as mais variadas finalidades como, por exemplo, expansão das fronteiras de ocupação, conversão da floresta em lavouras e pastagens, controle de pragas e limpeza de terreno (Cunha et al., 2007), e as causas naturais são, frequentemente, por raios (Medeiros & Fiedler, 2004).

Diante da necessidade de demonstrar dados atuais sobre a ocorrência dos focos de calor (incêndio) pela distribuição temporal e espacial destes focos, este estudo buscou analisar a evolução dos focos de calor no pantanal mato-grossense em uma série histórica de 5 anos (2016-2020) com o uso do sensoriamento remoto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FOCOS DE CALOR

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde a década de 1980 vem aprimorando um sistema de detecção e monitoramento do fogo baseado no uso intensivo das tecnologias de geoprocessamento. O sistema cobre todo o Brasil contemplando todos os biomas e os dados são processados em tempo quase real.

Com o uso do geoprocessamento tornou-se possível utilizar imagens de satélites, obtidas a partir de sensores remotos a bordo de satélites, para detectar e localizar, em tempo real, focos de calor. (Granemann & Carneiro, 2009)

Os dados são gerados a partir de imagens de sensores a bordo de diversos satélites polares e geoestacionários. São os chamados "focos de calor", que são pontos geográficos captados por sensores espaciais na superfície do solo a uma altitude de 700 a 900 km sobre o planeta, quando detectado temperatura acima de 47 °C e área mínima de 900 m². Atualmente, para os satélites em órbita polar (NOAAs, TERRA e AQUA), trabalhos de validação de campo indicam que uma frente de fogo com cerca de 30 m de extensão por 1 m de largura, ou maior, será detectada (INPE, 2020).

Ao longo dos anos, o INPE tem investido em tecnologia avançada tanto na detecção e monitoramento dos focos como na auditoria das detecções de focos de calor com intuito de evitar falsas detecções, desta forma, dificilmente um foco de calor detectado não seja incêndio ou queimada. Um incêndio ou uma ocorrência podem gerar um ou vários focos de calor, dependendo da extensão da linha de fogo.

A relação foco *versus* queimada não é direta nas imagens de satélite. Um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (píxel), que varia de 375 m x 375 m até 5 km x 4 km, dependendo do satélite. Neste píxel pode haver uma ou várias frentes de fogo ativo distintas que a indicação será de um único foco ou ponto. Portanto os focos detectados por todos os satélites ao longo do dia, irão detectar o mesmo evento, porém sem repetições de focos. (INPE, 2020)

2.2 QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS

O termo queimada está ligado a forma controlada do emprego do fogo como fator de manejo de atividades agropastoris e florestais, tais como limpeza e renovação de pastagens, eliminação de restos de exploração, conversão de uso do solo, aceiros, etc. Esta é uma prática cultural que deve ser autorizada pelo órgão público responsável e feita sob determinadas condições ambientais que permitam que o fogo se mantenha confinado à área determinada, de acordo com o plano estabelecido. Quando se perde o controle da queimada, essa pode descontrolar-se e causar incêndios. O uso de queimadas como um recurso agropecuário é frequentemente encontrado em algumas regiões do Brasil, principalmente no Centro-Oeste brasileiro (Vendrasco et al., 2006).

Já o termo incêndio florestal é o fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem (intencional ou negligência), quanto por uma causa natural, como os raios solares, aliadas as condições de calor prolongado, altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e a ocorrência de ventos. Ele difere da queimada pelo fato desta última ser controlada, utilizada como técnica de manejo agropecuário. Os incêndios florestais, também conhecidos como incêndios rurais, acontecem com frequência no período de estiagem, compreendido entre os meses de julho a outubro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) corresponde a uma extensa área com aproximadamente 600 mil km², dividida em duas áreas geográficas predominantes, os planaltos e as planícies. Está situada na América do Sul entre os países, Brasil, Paraguai e Bolívia. No Brasil, abrange os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo formada pelos rios Paraguai, Uruguai, Paraná e seus afluentes (Brasil, 1974).

A região do planalto é onde nascem os rios (nascentes) e seguem em direção a planície pantaneira, região baixa da bacia. A vegetação natural nos planaltos é o cerrado, onde se desenvolve uma pecuária de corte extensiva, e uma agricultura com predominância de monocultivos de soja e milho. As planícies delimitam o Pantanal mato-grossense, objeto deste estudo, que se caracteriza por uma riqueza e diversidade de fauna que tem estimulado o desenvolvimento de atividades turísticas (BRASIL, 1996).

As principais nascentes dos rios da BAP encontram-se no cerrado, mais precisamente na chapada dos parecis, em Mato Grosso. É essa relação do planalto com suas nascentes e dos rios na planície, além da influência de três grandes biomas como Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, que são responsáveis pela formação das características ambientais, ecológicas, geológicas, climáticas e culturais de toda a região, proporcionando a formação de um habitat único de alta biodiversidade (OBSERVATÓRIO PANTANAL, 2019).

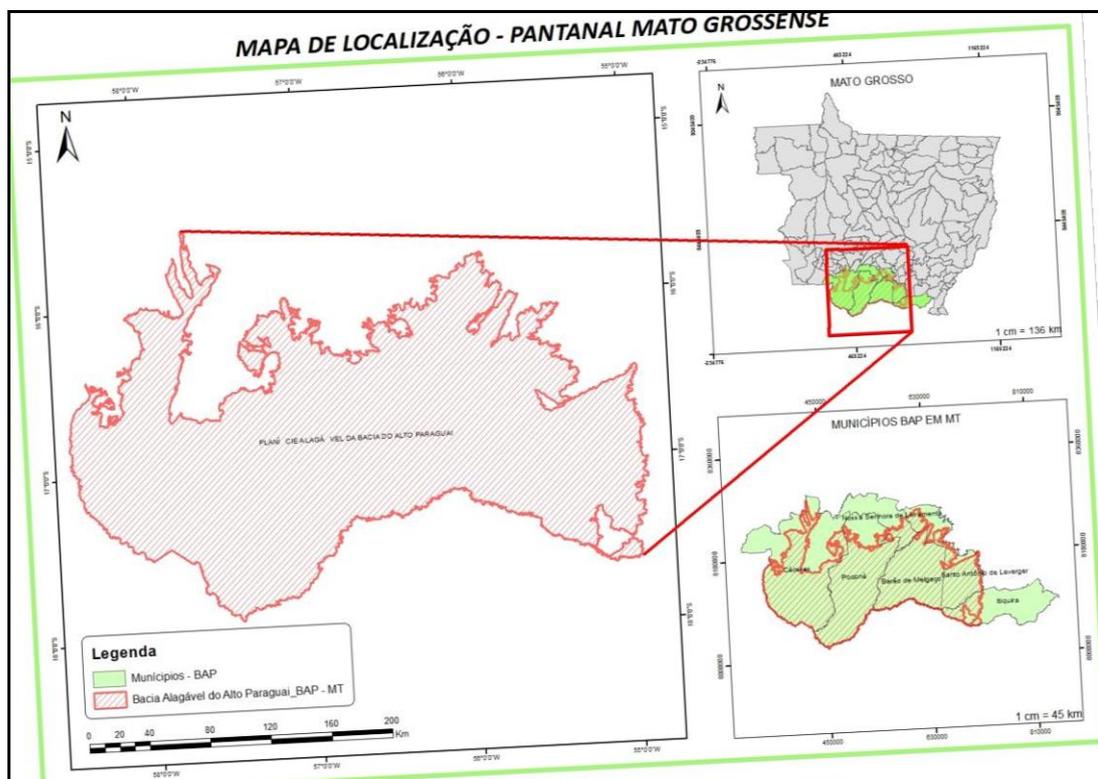
O clima do Pantanal, bem como em toda bacia hidrográfica do alto paraguai, está sobre influência do sistema climático do Brasil central. Os sistemas atmosféricos do Pantanal são de origem tanto tropical quanto extratropical, sofrendo influência dos sistemas que atuam na Região da Amazônica. De acordo com a classificação climática de Köppen, o Pantanal, se enquadra no tipo climático Aw – clima tropical, megatérmico (temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C) (Nimer, 1989).

Utilizou-se a área da planície alagável do Pantanal em Mato Grosso como referência para este estudo, comumente denominada de Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP). A área é delimitada na lei nº 9.060 de 22 de dezembro de 2008,

conhecida como Lei do Pantanal, que dispõe sobre os limites da Planície Alagável da Bacia do Alto Paraguai no Estado de Mato Grosso.

Na análise sobre as incidências dos focos de calor sobre a BAP em Mato Grosso, foram utilizados os dados identificados entre os períodos de 2016 a 2020 em todos os municípios que compõe a bacia: Barão de Melgaço, Cáceres, Itiquira, Nossa Senhora do Livramento, Poconé e Santo Antônio do Leverger, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

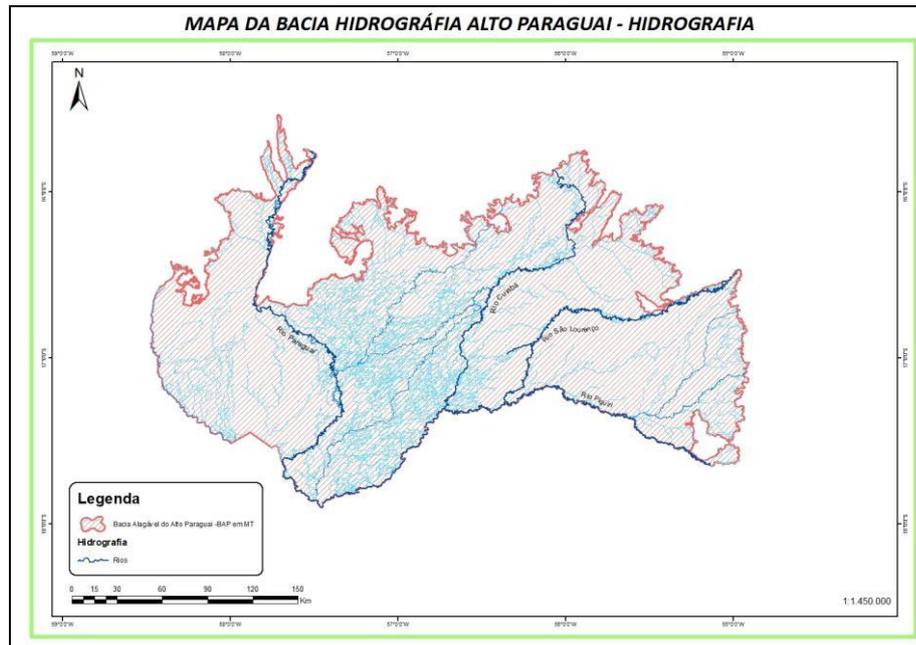
Figura 1 - Mapa de localização da Planície Alagável do Alto Paraguai (BAP) em Mato Grosso.



Fonte: SEMA, elaboração: a autora (2021).

Na figura 2 é possível visualizar alguns dos principais rios que compõe a hidrografia da Bacia Alagável do Alto Paraguai em MT, entre eles: Rio Paraguai, Rio São Lourenço, Rio Cuiabá, Rio Itiquira e seus afluentes.

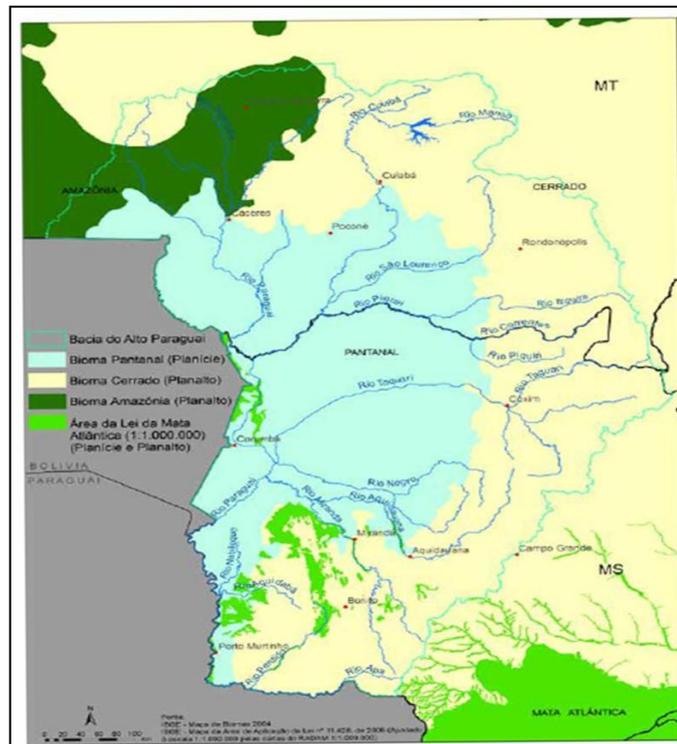
Figura 2 - Mapa da hidrografia principais rios e seus afluentes.



Fonte: SEMA, elaboração: a autora (2021).

Logo abaixo, também teremos a figura 3, que representa a delimitação da BAP no Brasil e a composição do meio ambiente através da sobreposição com a delimitação dos biomas que a integram.

Figura 3 - Mapa da delimitação da BAP no Brasil e a sobreposição com os biomas.



Fonte: Instituto SOS Pantanal, 2021.

2.2 Metodologia aplicada

Para o presente estudo foram utilizados dados de focos de calor no formato *shapefile*, da região da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai em Mato Grosso, datado de 01/01/2016 a 31/12/2020. Os focos de calor são provenientes de sensores a bordo dos satélites NOAA – AQUA – TERRA – GOES – METEOSAT – NPP – ATRS/ESA, computados e disponibilizados pelo INPE através do Banco de Dados do Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais, disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Esses dados geoespaciais foram organizados por mês e ano em uma única base de dados, com a finalidade de facilitar a visualização das informações compiladas e manipulação e edição de sua tabela de atributos.

Os dados referentes a malha municipal, os limites da BAP, hidrografia foram obtidas das bases geográficas da Secretaria Estadual de Estado do Meio Ambiente (SEMA), disponibilizado em <http://www.sema.mt.gov.br/transparencia>.

A partir da aquisição dos dados, os mesmos foram tratados em ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG), realizando uma contagem de todos os pontos dentro de uma área de influência, possibilitando assim uma visão qualitativa e espacial dos focos na região do Pantanal mato-grossense.

Após foi gerado o mapeamento dos focos de calor, através do uso dos mapas de Kernel, um método estatístico de estimação de curvas de densidades, utilizando pontos cotados. Neste método cada uma das observações, pontos, é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo (BOSSLE 2017). Para melhor representação e análise dos resultados da interpolação, definiu-se 5 classes de densidade: 1) muito baixa (verde escuro), 2) baixa (verde claro), 3) média (amarelo), 4) alta (laranja) e 5) muito alta (vermelho).

O *software* utilizado para o processamento dos dados e interpolação dos focos de calor foi o *ArcGIS 10.5*. com a utilização da ferramenta *Spatial analyst tools*, no qual foi realizado todo o processamento dos dados e de sensoriamento remoto para a elaboração dos mapas.

Cabe destacar que, um foco indica a existência de queimada ou incêndio em uma região representada por um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km (INPE, 2017), isto significa que apesar de em um pixel haver um ou vários incêndios distintos associados, a indicação será de um

único foco. Se uma queimada/incêndio for muito extensa, ela será detectada em alguns pixels vizinhos.

Pode acontecer de um mesmo evento ser detectado por vários satélites ao longo do dia. Portanto os focos de todos os satélites ao longo do dia, irão detectar o mesmo evento, porém sem repetições de focos. Adicionalmente, em muitos casos, pela variação natural do tamanho dos píxeis entre os vários satélites, o mesmo evento de fogo na vegetação poderá ser indicado em locais com distância de alguns km conforme o satélite que a detectou. Essa detecção depende da passagem de cada satélite sob determinado local, visto que cada satélite tem um tempo de revisita característico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do padrão de ocorrência de focos proporciona um panorama espacial e temporal que pode facilitar e priorizar ações de combate aos incêndios, uma vez que, por conta da sua extensão e dificuldades de acesso, torna-se difícil realizar o trabalho *in loco*.

Após o tratamento e interpretação dos dados constatou-se um total de 561.755 ocorrências de focos de calor ativos neste bioma, detectados pelos sensores que monitoram os focos de calor em todo o Brasil, no período entre janeiro de 2016 e dezembro de 2020, conforme pode ser visualizado na figura 4.

Figura 4 - Focos de calor identificados pelos satélites do INPE para o período de 2016 a 2020.



Fonte: INPE, elaboração: a autora (2021).

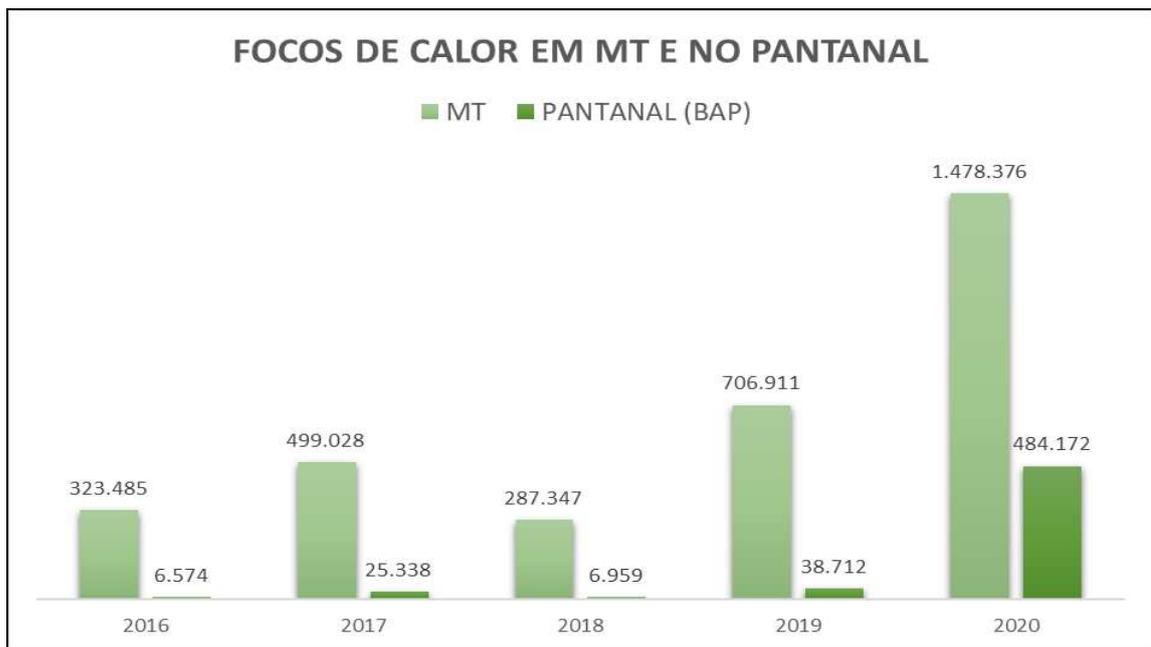
Analisando a distribuição temporal dos focos de calor (incêndio) no pantanal mato-grossense apresentadas na figura 4, fica evidente que o ano que mais apresentou incidência de focos de calor foi em 2020 com recorde entre os anos de estudo, atingindo um total de 484.172 mil focos, que representou 86,18% dos focos ativos durante o período de estudo.

Entre os anos de 2016 e 2018 os focos seguiram o mesmo padrão de distribuição, com baixa variação, 6.574 focos em 2016 e 6.959 focos em 2018. Já no ano de 2019 houve um aumento de 5,5 x mais detecção de focos que o ano anterior.

E no ano de 2020 identificou-se a maior ocorrência dos últimos anos, um aumento 12x maior em relação ao ano de 2019.

Na figura 5 abaixo, podemos verificar uma comparação entre os focos de calor detectados no bioma pantanal e os focos distribuídos pelo estado de Mato Grosso.

Figura 5 - Comparativo entre as ocorrências de focos de calor no estado de Mato Grosso e no perímetro da BAP para os anos de estudo.



Fonte: INPE, elaboração: a autora (2021).

Quando comparado as ocorrências identificadas pelos satélites para todo o estado de Mato Grosso e para o pantanal mato-grossense, observa-se que os últimos dois anos (2019 e 2020), apresentaram resultados muito expressivos e em grande evolução de detecções, atingindo proporções gigantescas, seguindo o aumento dos focos tanto no estado como um todo como também no pantanal.

Os incêndios do Pantanal podem estar relacionados aos processos de ocupação humana e o crescimento das atividades antrópicas na região, que têm alterado de forma drástica o bioma e o fluxo hídrico da planície pantaneira (FERREIRA, LARCHER, L.; RABELO, 2018).

Outra possibilidade é que eles tenham se iniciado naturalmente em condições de calor prolongado, com altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e ventos intensos. Independentemente da fonte de ignição, os incêndios florestais podem rapidamente se tornar generalizados, incontrolláveis, intensos, persistentes,

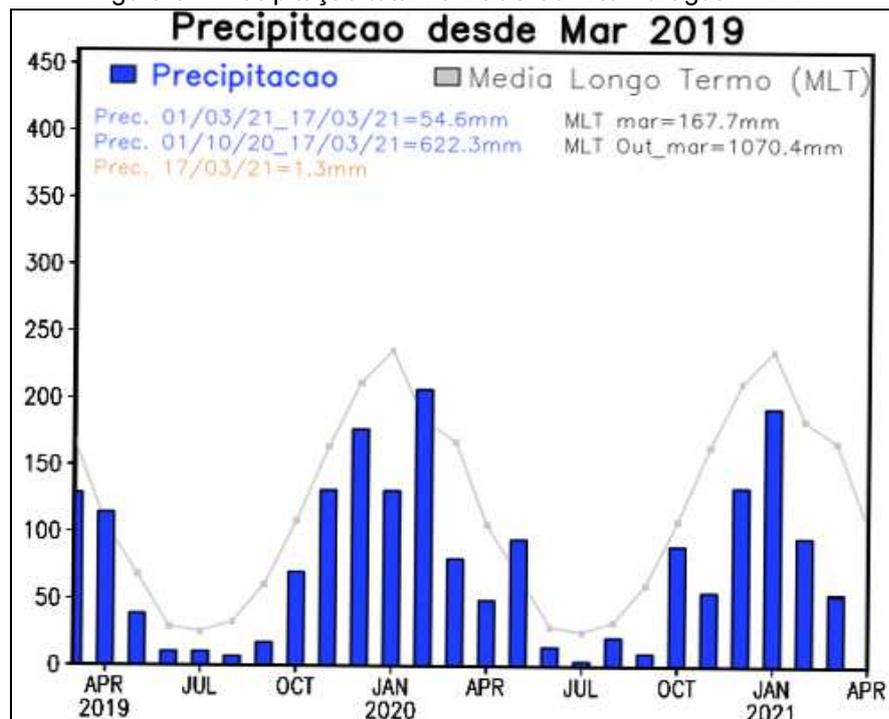
desastrosos e letais à vida da fauna, flora e humana, em razão das condições climáticas e ambientais.

Fatores que podem influenciar na dinâmica de distribuição dos focos de incêndio, como a quantidade de material orgânico, vivo ou morto, na superfície do solo, capaz de entrar em combustão e o tipo de cobertura vegetal.

De acordo com Machado et al. (2014), além de estarem relacionadas com atividades humanas os incêndios são agravados por condições meteorológicas específicas, tais como a não ocorrência de precipitação, alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar.

Logo abaixo, na figura 6, observa-se um gráfico com a precipitação na BAP entre março de 2019 a abril de 2021.

Figura 6 - Precipitação total na Bacia do Alto Paraguai – BAP.



Fonte: CPTEC/INMET, 2021.

Os resultados demonstram que nos dois últimos anos, 2019 e 2020 (figura 6), os meses de junho, julho, agosto e setembro foram os meses mais críticos, com precipitação total abaixo de 50 mm.

De acordo com Scholes, 1997 *apud* Machado et al. (2014) a sazonalidade na disponibilidade de água proporciona maior acumulação de material inflamável, que

potencialmente possui maior propensão a ocorrência de incêndios em períodos com baixa precipitação e baixa umidade do ar (Deppe et al., 2004).

A ausência de precipitações, causa uma diminuição da umidade do ar, a qual proporciona um déficit na formação de nebulosidade, favorecendo uma maior atuação da radiação solar sobre a superfície, que por sua vez eleva a temperatura do ar, o que também ajuda na propensão de ocorrência do fogo (Torres, 2006).

Na figura 7 a seguir, nota-se uma distribuição dos focos de calor ao longo dos meses durante o período do estudo.

Figura 7 - Distribuição espacial dos focos de calor ativos por mês.



Fonte: INPE. Elaboração: a autora (2021).

No ano de 2020, os focos tiveram as maiores detecções entre o mês de julho a novembro. Em comparação com os meses de maior ocorrência de focos de incêndio, percebe-se que os meses com maior ocorrência de focos coincidiram com os meses de baixa precipitação total.

Na variação mensal observou-se tendência de aumento das ocorrências de focos de calor a partir de julho, atingindo o máximo em setembro. Nesse mês, em todos os anos do período do estudo, sem exceção, observou-se as maiores ocorrências, corresponderam a 39,15% (219.974 focos) do total, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

Observa-se que os incêndios tendem a ocorrer no período seco, uma vez que no período chuvoso parte da região encontra-se inundada (PCBAP, 1997). Além disso, os baixos índices de umidade relativa do ar (chegando a valores mínimos,

cerca de 15%, ao longo do dia) favorecem a ocorrência de grandes incêndios, o que afeta drasticamente o ecossistema da região.

A Embrapa Pantanal vem monitorando as variáveis meteorológicas e sua relação com a ocorrências de incêndios no Pantanal (RODRIGUES, 1999; CARDOSO et al., 2003; ONIGEMO, 2006; PADOVANI, 2008; SORIANO; PELLEGRIN, 2007; SORIANO et al., 2008; 2015; SORIANO 2012), onde pode ser observado que, dependendo da variação do clima entre anos, ocorre uma variação no número de eventos, modificando a paisagem local.

Percebe-se que as condições climáticas e incêndios mantêm uma estreita relação, desde a probabilidade de ocorrências de incêndios decorrente das condições atmosféricas em um dado período de tempo, até a manutenção e propagação do fogo (Torres, 2006).

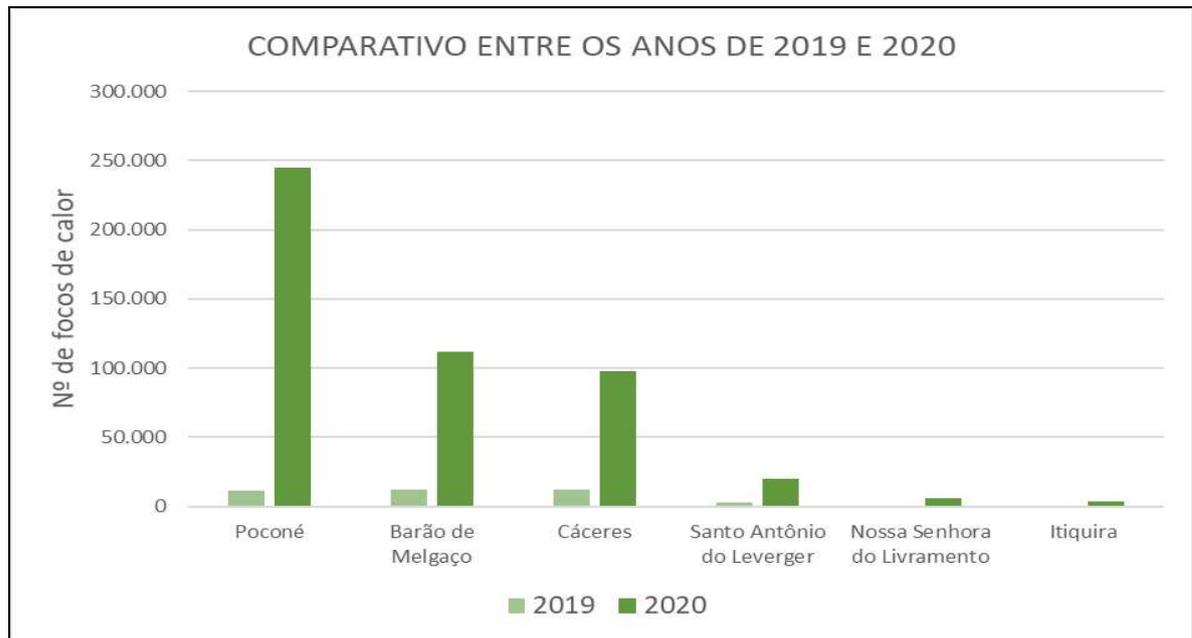
Macedo et al (2009) registraram a diminuição do nível do rio Paraguai, em função da redução das precipitações em sua bacia, o que pode resultar em um conjunto de fatores favoráveis aos incêndios florestais nestas regiões. Recentemente, estes dados também foram verificados por (Lazaro et al.2020) através de alterações no sistema hídrico do rio Paraguai, no município de Cáceres.

Na região da BAP, além das condições climáticas, as ações antrópicas também podem ter influenciado o aumento do número de focos de calor, visto o crescimento do processo de ocupação humana nessa região, que tem alterado de forma significativa o fluxo hídrico da planície pantaneira (Ferreira et al, 2018).

É interessante ressaltar que o uso do fogo para manejo de pastagens é uma prática comum e tradicional no Pantanal brasileiro e visa aumentar a oferta de forragens para os animais, principalmente no período seco (agosto a setembro).

Em algumas regiões o fogo é aplicado com maior frequência, devido à grande quantidade de material seco produzido pelas espécies de gramíneas nativas indesejáveis, ou seja, aquelas que são pouco consumidas pelos bovinos e também em áreas onde se observa invasores arbustivos e arbóreos que dificultam o manejo dos animais (Rodrigues et al., 2002).

Figura 8 - Municípios com maior ocorrência de focos de calor nos anos de 2019 e 2020.

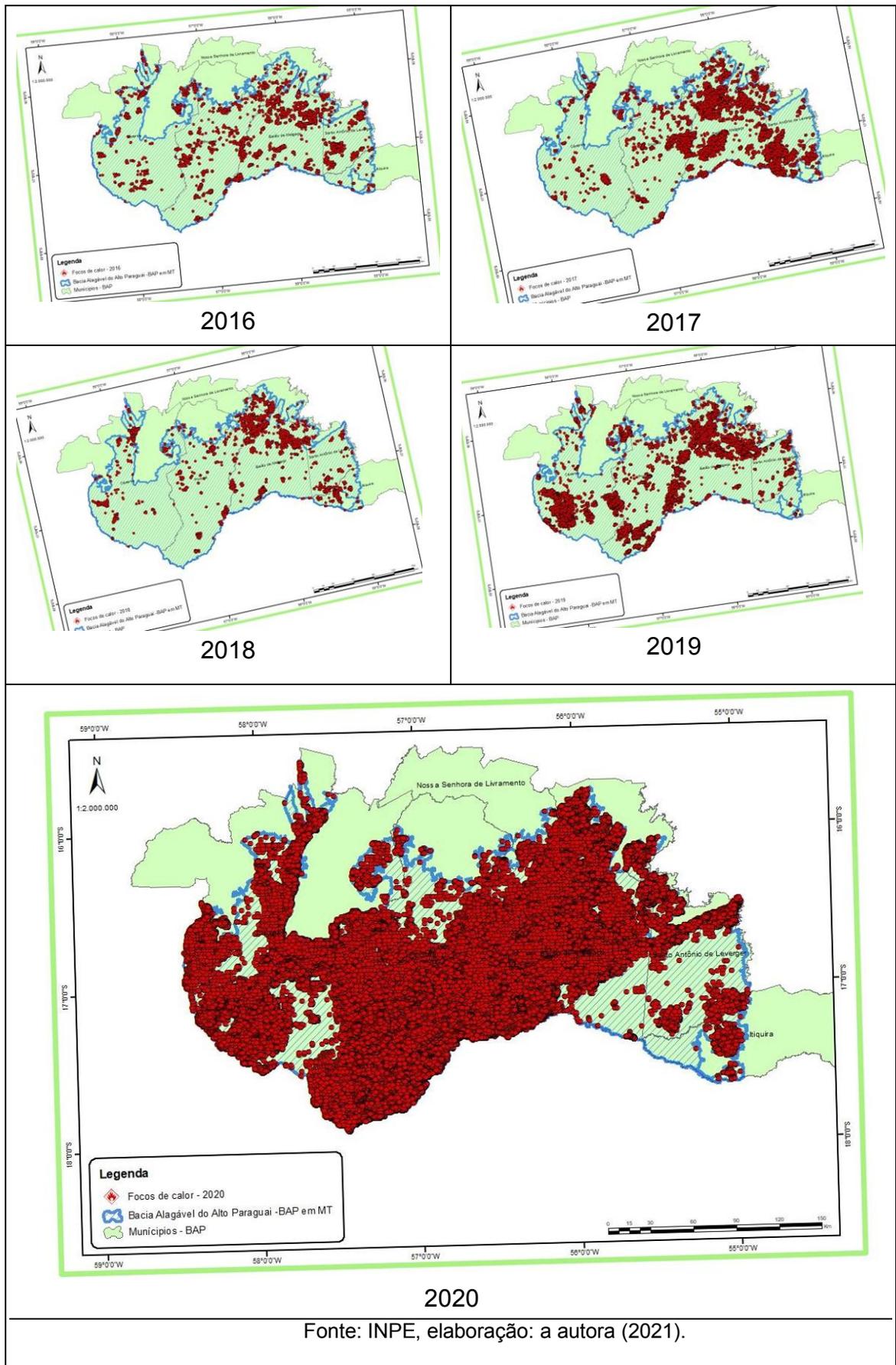


Fonte: INPE, elaboração: a autora (2021).

O município com maior área afetada por incêndios foi Poconé em 2020, com mais de 240 mil focos de calor detectados (50,62% do total de focos identificados dentro da BAP), seguido de Barão de Melgaço e Cáceres. Juntas, as três cidades do Pantanal respondem por 93,97% dos focos de fogo no Pantanal no período analisado, conforme pode ser visualizado na Figura 05.

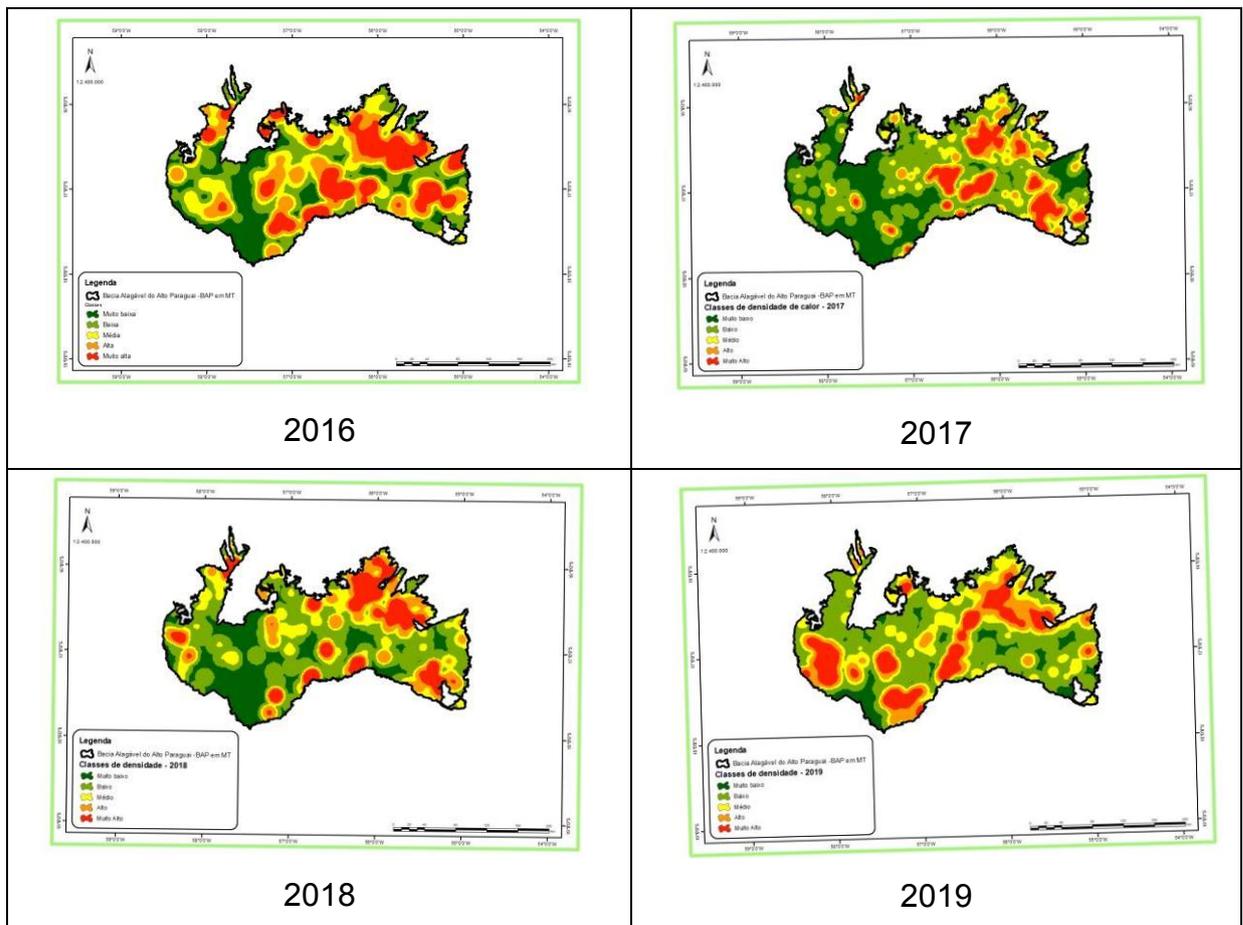
Analisando a figura 8, a quantificação de focos de calor identificados no perímetro estudado, evidenciou a detecção exorbitante no ano de 2020, com maior ocorrência nos municípios de Poconé, Barão de Melgaço e Cáceres.

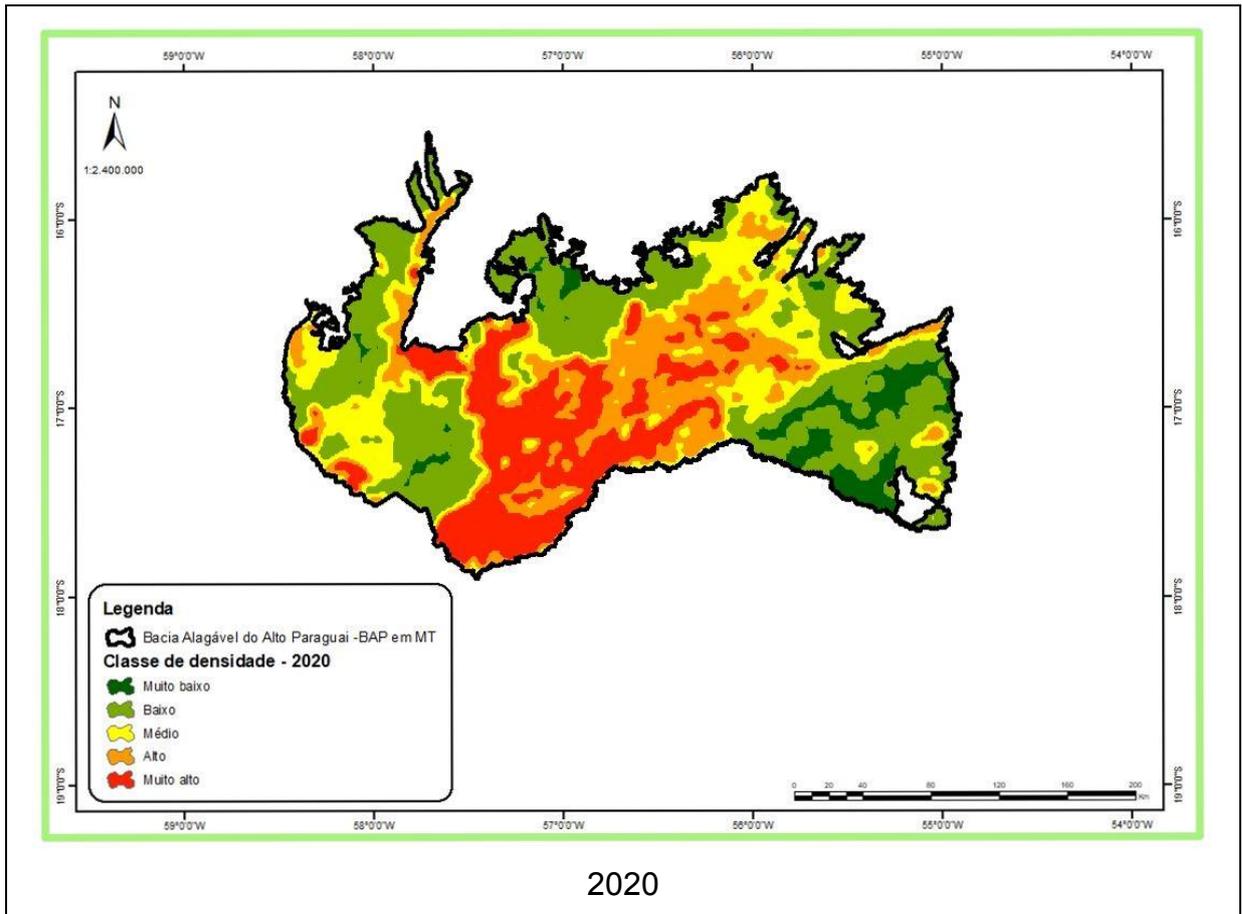
Figura 9 - Mapas de distribuição dos focos de incêndio no Pantanal no período de 2016-2020.



Na figura 10 estão apresentados os mapas de distribuição espacial dos focos de calor, onde aplicou-se o estimador de densidade Kernel para o total de focos registrados por ano, no intuito de apresentar uma visão geral da distribuição espacial dos pontos, sendo possível apurar a intensidade pontual dos focos de calor de toda área do Pantanal mato-grossense e com isso verificar as regiões críticas dentro desta delimitação.

Figura 10 - Mapas de densidade de Kernel para o período estudado.





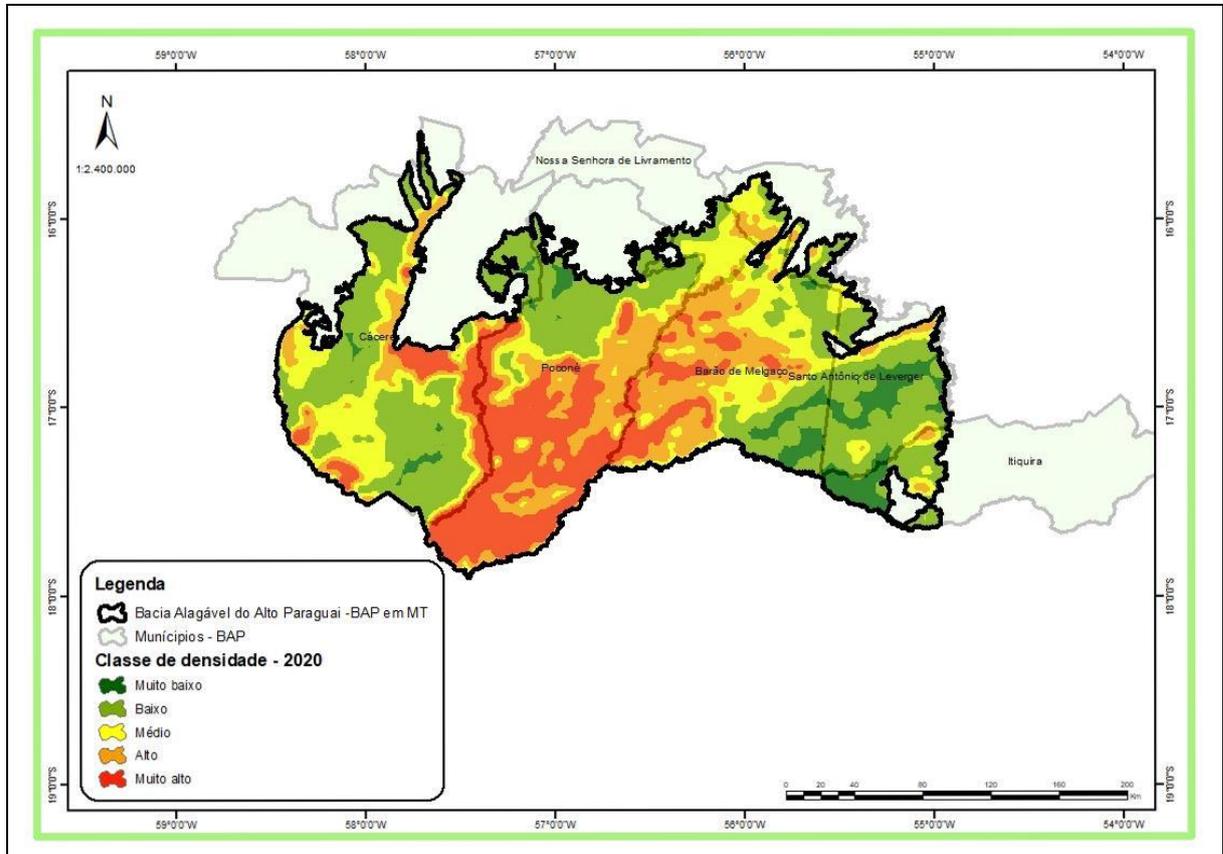
Fonte: INPE, elaboração: a autora (2021).

A classificação da densidade de Kernel foi dividida em 5 classes, onde a coloração verde escura representa baixíssimos focos de calor ou a não identificação dos focos, e conforme a coloração for mudando para amarelo, laranjada e vermelho, a densidade de focos aumenta, até atingir o seu pico de alta densidade de ocorrência de focos de calor (vermelho).

De modo geral, o ano de 2016 apresentou focos de calor distribuídos de maneira dispersa na BAP, já no ano de 2017 os focos concentraram-se ao leste da bacia, atingindo os municípios de Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio e Itiquira. Nota-se que nos anos de 2017 e 2018 a presença da classe muito baixa (verde escuro) é aparente e vem diminuindo ao longo dos anos deste estudo, por outro lado no ano de 2019 essa classe distribuiu-se de maneira isolada no perímetro da BAP. Em 2020, o município de Santo Antônio do Leverger apresentou pouquíssimos focos de calor, não sendo atingido como nos municípios localizados ao centro da BAP.

Após a sobreposição dos mapas, pode-se delimitar os municípios afetados, conforme observa-se na figura 11 a seguir.

Figura 11 - Mapa de densidade de kernel - ano de 2020 com municípios da BAP.



Fonte: INPE, elaboração: a autora (2021).

Outra característica que podemos notar com os mapas de densidade de Kernel é a recorrência dos focos de calor, onde alguns dos municípios da BAP durante todo o período de análise foram reincidentes nos focos de calor, sendo eles: Poconé, Barão de Melgaço e Cáceres. Dentre estes, Poconé foi o com maior área atingida em termos de densidade muito alta no ano de 2020, representando aproximadamente 50 % do território, conforme observou-se na figura 8.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo foi demonstrado como os dados de focos de calor do Programa Queimadas e Incêndios Florestais (INPE), podem ser utilizados para as avaliações quanto as características de ocorrência dos incêndios no bioma Pantanal em Mato Grosso.

A aplicação e o uso de geotecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento tornou-se um grande aliado na quantificação e no monitoramento dos focos de calor em Mato Grosso e no Brasil, sendo importante para análises das áreas onde ocorrem os incêndios no pantanal, as regiões mais afetadas e os fatores envolvidos, como baixa precipitação, baixa umidade relativa do ar, e o material combustível.

Os incêndios ocorrem todos os anos no pantanal mato-grossense e sua intensidade não segue um padrão, entretanto, demonstraram estar relacionados ao regime hídrico da região, sendo mais frequentes no período de seca do Pantanal (abril a setembro), onde a pluviosidade de chuva é menor. Houve uma tendência na diminuição das chuvas e aumento do período de secas, o que contribuiu para a ocorrência de incêndios no período de estudo.

Os resultados demonstraram que as condições climáticas estão intimamente ligadas a ocorrência do fogo, assim como o depósito natural de vegetações secas (material combustível) aumentam a propensão a ocorrência de incêndios. Além disso, a grande parte das ocorrências de incêndios são de causa humana, porém, percebe-se que os longos períodos de estiagem possuem grande influência na propagação.

A aplicação do estimador de densidade Kernel, possibilitou a análise espacial e distribuição dos focos de calor, gerando informações quanto aos municípios com maior recorrência, sendo eles: Poconé, Barão de Melgaço e Cáceres.

6 REFERÊNCIAS

BOSSLE, R. C. **QGIS e geoprocessamento na prática**. 2ª ed. São José dos Pinhais. Edição do autor, 2017.

BRASIL. Ministério Do Interior. Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS. **Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai: fluviometria**. Rio de Janeiro, 1974. v. 4. 664p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Assistência ao Meio Ambiente. **Plano de Caracterização da Bacia do Alto Paraguai. Relatório final interpretativo da relação clima e meio ambiente na bacia do Alto Paraguai**. Cuiabá-MT, 1996. 47p. Documento de Trabalho PCBAP-68.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional de Meio Ambiente. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP**. Brasília, DF: PNMA, 1997. 3v.

DEPPE, F.; PAULA, E. V.; MENEGHETTE, C. R.; VOSGERAU, J.;(2004). **Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. Floresta**.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais**. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 14/02/2021.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Monitoramento de Queimadas e Incêndios, 2020. **Perguntas Frequentes**. Disponível em: acesso em: 14/02/2021.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Mapa de precipitação da Sub Bacia do Alto Paraguai**. Disponível em <http://energia1.cptec.inpe.br/bacias/pt#To>. Acessado em 25/02/2021.

CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n.1, p. 201-211, 2003.

CARDOSO, E. L; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G., BARIONI JÚNIOR, W. **Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38. n.6, p. 747- 752, 2003.

CUNHA AMC, LIMA CA, DIETZSCH L. **Levantamento de áreas de maior risco de incêndios através de dados NOAA12**. Estudo de caso: Reserva Biológica do Guaporé. In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* [online]; 2007; Florianópolis, Brasil. São José dos Campos: INPE; 2007. p. 4439-4446 [citado 2013 maio 01]. Disponível em: <http://bibdigital.sid.inpe.br/rep-/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11>. Acessado em 25/11/2020.

FERREIRA, S. W.T.; LARCHER, L.; RABELO. A.P.C. **Análise da distribuição espaço-temporal dos focos de incêndio no Pantanal (2000-2016)**. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS, 20 a 24 de outubro 2018 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 563-573.

GRANEMANN, D. C. & CARNEIRO, G.L. **Monitoramento de fogos de incêndios e áreas de queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto**. *Revista de engenharia e tecnologia*. 2009. Revista de engenharia e tecnologia.

Instituto SOS Pantanal, 2021. Disponível em: <https://www.sospantanal.org.br/projeto/mapeamento-da-cobertura-vegetal-da-bacia-do-alto-paraguai-bap/>. Acessado em 01/05/2021.

MACEDO, H. A.; SILVA, A.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. **Avaliação das queimadas no Pantanal do Paraguai na região de Corumbá e Ladário, MS no período de maio de 2009**. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.452-459.

MACHADO, N. G., SILVA, F. C. P E 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*, Santa Maria, v. 36 n. 3 set-dez. 2014, p. 459 – 469. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. 2. ed. 1989. 422 p.

OBSERVATÓRIO PANTANAL; **Bacia do Alto Paraguai**. 2019. Disponível em https://observatoriopantanal.org/#!/pantanal_section. Acessado em 17/03/2021.

ONIGEMO, A. E. **Avaliação de índices de risco de incêndio em áreas com predominância de gramíneas cespitosas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS**. 2006. 142f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

PADOVANI, C. R.; CRUZ, M. L. L.; CRISPIM, S. M. A.; SANTOS, S. A. **Fire monitoring and spatial analysis for Brazilian Pantanal**. In: INTERNATIONAL WETLANDS CONFERENCE, 8., Cuiabá, 2008. Big wetlands, big concerns: abstracts. [Sl.: s.n], 2008. p.158. INTECOL.

PCBAP. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal. Brasília: **Diagnóstico do Meio Físico e Biótico**. Ministério dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1349 pp., 1997.

RAMOS, L.F; SORIANO, B.M.A.; NARCISO, M.G. E OLIVEIRA, M.R. **Uso de geoprocessamento para análise de focos de calor no Pantanal Brasileiro**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2018. Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7215; 158).

RODRIGUES, C. A. G. **Efeitos do fogo e da presença animal sobre a biomassa aérea e radicular, nutrientes do solo, composição florística, fenologia e dinâmica de um campo de capim-carona (Elyonurus muticus (Spreng. O. Ktze.)**

no Pantanal (sub-região de Nhecolândia). 249p. (Tese Doutorado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 1999.

RODRIGUES, C. A. G.; CRISPIM, S. M. A.; COMASTRI FILHO, J. A. **Queima controlada no Pantanal.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 23 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 35).

SCHROEDER, M.J. & BUCK, C.C. **Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operation.** Washington, D.C.: USDA Forest Service, 1970. 229 p. (Agriculture Handbook 360).

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; SILVA, S. M. N. A.; MORAES, J. A. **Evolution of deforestation in the brazilian pantanal and surroundings in the timeframe 1976-2008.** Geografia, Rio Claro, v. 36, p. 35-55, 2011. Viana, D. R.; Alvalá, R. C. S. Vegetation index performance for the pantanal region during both dry and rainy seasons Geografia, Rio Claro, v. 36, p. 143-158, 2011.

SORIANO, B. M. A.; PELLEGRIN, L. A. **Monitoramento do número de focos de calor e variáveis meteorológicas observados em 2007 no Pantanal.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007 3 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 64).

SORIANO, B. M. A.; SANTOS, S. A.; DANIEL, O.; CRISPIM, S. M.; PELLEGRIN, L. A.; PADOVANI, C. R. **Monitoramento dos focos de calor e das variáveis meteorológicas para o Pantanal em 2008.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 73). O Meio Ambiente e a Interface dos Sistemas Social e Natural 2, Capítulo 8, 103.

SORIANO, B. M. A. **Zoneamento do risco de incêndio para o Pantanal Sul-Mato-Grossense.** Dourados, MS: UFGD, 2012.

TORRES, F.T.P. **Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG).** Caminhos de Geografia, v. 7, n. 18, p. 162-171.2006.