

COMPREENDENDO AS DINÂMICAS AMBIENTAIS EM UMA ÁREA PROTEGIDA DE REGIÕES ALAGADAS

João Batista Ferreira Neto¹
Kássio Samay Ribeiro Tavares²
Rosa Helena Da Silva³
Gabriel Pereira⁴
Geraldo Alves Damasceno Junior⁵

RESUMO

O bioma Pantanal apresenta uma grande diversidade de paisagens em suas diferentes escalas. O mesmo é percebido no Parque estadual do Pantanal do Rio Negro (PEPRN), devido sua alta complexidade e diversidade de fitofisionomias e climofisionomias. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e visitas a campo, foram analisadas as dinâmicas ambientais do parque, fornecendo subsídios fundamentais para a elaboração de estratégias de conservação. A pesquisa revelou uma alta frequência de incêndios nos meses de setembro a dezembro, evidenciando uma relação direta entre a distribuição das precipitações e a dinâmica dos incêndios. A análise climática mostrou um aumento das temperaturas e mudanças no padrão de precipitação, afetando o período chuvoso e a estiagem. Além disso, foi realizado um breve levantamento florístico, que permitiu dividir o parque em três unidades de paisagens distintas.

Palavras Chaves: ERA5; Normal Climatológica; Mudanças climáticas; reanalises; CHIRPS;

INTRODUÇÃO

O Pantanal, uma das maiores áreas úmidas do planeta, é um bioma de extrema importância ambiental e econômica. Localizado no centro da América do Sul, cobre partes dos estados brasileiros de Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65%), além

¹ Mestre pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ, joao.neto@furg.br;

² Mestre pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Goiás – UFG, kassiosamayribeiro@gmail.com;

³ Doutora pelo Curso de Biotecnologia e Biodiversidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, rosa.helena@ufms.br;

⁴ Doutor pelo Curso de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pereira@ufsj.edu.br;

⁵ Doutor pelo Curso de Biologia Vegetal da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, geraldodamasceno@gmail.com

de áreas na Bolívia e no Paraguai (Silva; Abdon, 1998). Caracterizado por um regime hidrológico único, o Pantanal é um refúgio de biodiversidade, abrigando inúmeras espécies de plantas e animais, muitas delas endêmicas e ameaçadas de extinção (Oliveira et al., 2014; Keddy et al., 2009).

A vegetação do Pantanal é diversificada, composta por um mosaico de comunidades vegetais compostas em sua maioria por espécies provenientes de biomas circundantes. Isso inclui plantas xerófitas, mesófilas e hidrófilas, distribuídas conforme suas dinâmicas e adaptações aos ambientes (Chaves; Souza; Freitas, 2020). A vegetação nativa é adaptada às condições extremas de fogo e inundação. Essas espécies desenvolveram mecanismos de resistência e resiliência, como a capacidade de rebrota após o fogo e adaptações fisiológicas para sobreviver em solos alagados. A capacidade de rebrota, por exemplo, é uma importante adaptação das plantas que facilita a recolonização após eventos de fogo, um mecanismo essencial para a sobrevivência em um ambiente tão dinâmico (Silva et al., 2022).

Não somente a flora, mas já existem registros de animais adaptados a esses regimes de fogo, como o caso das aranhas do sol (solífugos), em que o fogo tem um efeito positivo na abundância dessas aranhas, possivelmente devido à redução da cobertura vegetal, facilitando a caça e a locomoção (Santos et al. 2021). Moretti et al. (2002) mostraram que a abundância de ortópteros e coleópteros geralmente aumenta após incêndios, quando o rápido crescimento da vegetação, aumenta a disponibilidade de recursos para insetos.

A fauna do Pantanal é diversa, abrigando aproximadamente 582 espécies de aves, 132 de mamíferos, 113 de répteis e 41 de anfíbios. Espécies ameaçadas, como a onça-pintada (*Panthera onca*) e o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), encontram refúgio nesse bioma (Chaves; Souza; Freitas, 2020). Além disso, a presença de comunidades tradicionais, como quilombolas e ribeirinhos, é uma característica importante da região, com atividades de subsistência fortemente ligadas aos rios do Pantanal (Chaves; Souza; Freitas, 2020).

O regime hidrológico do Pantanal, com ciclos de cheia e secas, é crucial para a manutenção dos processos ecológicos. As inundações distribuem nutrientes pelo solo, promovendo o crescimento de uma vegetação variada que serve de alimento para a fauna nativa. A dinâmica de inundação, cuja intensidade, extensão e permanência variam de

ano para ano, é determinante para os processos bióticos e abióticos do bioma (Moraes et al., 2017; Antunes; Lamparelli; Rodrigues, 2015). O regime hidrológico do Pantanal resulta também em solos hidromórficos, saturados de água, e solos ricos em matéria orgânica acumulada devido à lenta decomposição (Nascimento; Lani; Zoffoli, 2013).

As inundações periódicas, embora essenciais para a dinâmica ecológica do bioma, podem causar erosão do solo, removendo nutrientes vitais e dificultando o crescimento da vegetação, além de danificar infraestruturas locais e aumentar os riscos de saúde pública devido à proliferação de doenças transmitidas pela água (Nascimento; Lani; Zoffoli, 2013; Moraes et al., 2017). Já os incêndios, exacerbados por atividades humanas e mudanças climáticas, têm se tornado mais frequentes e intensos, resultando em perdas significativas de vegetação e fauna (Libonati et al., 2020; Silva et al., 2021; Oliveira et al. 2021; Shimabukuro et al., 2023)

Os incêndios ocorridos no Pantanal em 2020 foram os piores já registrados na região (Shimabukuro et al., 2023); Aproximadamente 40.000 km² de vegetação natural foram afetados (Libonati et al., 2020); incluindo áreas de conservação e terras indígenas (Mataveli et al., 2021); 17 milhões de vertebrados foram mortos diretamente por esses incêndios (Tomas et al., 2021); e o custo estimado para a restauração pós-incêndio dessas áreas queimadas foi de cerca de 123 milhões de dólares (Martins et al., 2022).

Embora a vegetação nativa do bioma Pantanal seja adaptado ao regime de incêndio, a frequência e a intensidade dos incêndios têm superado a sua capacidade de recuperação natural (Shimabukuro et al., 2023; Nepstad et al., 2004; Silva et al., 2021). No que tange à fauna, animais menos móveis, como serpentes, lagartos, jabutis, jacarés, tamanduás, macacos e antas, são frequentemente encontrados carbonizados ou com partes do corpo queimadas devido à dificuldade em fugir dos incêndios (Tomas et al., 2021). Mesmo animais mais ágeis, como a onça-pintada, cervos e lobos, sofrem com a inalação de fumaça, queimaduras nas patas e a perda de habitat. Animais herbívoros, como veados e capivaras, que além de perderem seu habitat, sofrem com a falta de alimento. Esse desequilíbrio na base da cadeia alimentar tem repercussões em toda a teia ecológica, incluindo predadores e outras espécies dependentes dos herbívoros (Brumatti; Bucheroni, 2020).

Dada a riqueza e a fragilidade desse ecossistema, a criação e manutenção de unidades de conservação tornam-se essenciais para proteger sua biodiversidade e

promover o uso sustentável dos recursos naturais. Os parques estaduais, como componentes dessas unidades de conservação, desempenham um grande papel ao fornecer proteção a ecossistemas variados, manutenção da biodiversidade, promoção de pesquisas científicas, educação ambiental, turismo e recreação. No Brasil, a criação desses parques é regulamentada pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que classifica esses espaços como áreas de proteção integral, priorizando a conservação dos ecossistemas de grande relevância ecológica e beleza cênica (Silva et al., 2022).

Para efetivar essa proteção e manejo adequado, é imprescindível uma compreensão aprofundada das características e dinâmicas ambientais. Nesse contexto, ferramentas de análise ambiental como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento tornam-se essenciais (Ross, 2012; Tavares; Souza, 2022). Essas técnicas permitem a obtenção de dados precisos sobre a cobertura vegetal, o uso do solo e a dinâmica hídrica, fornecendo subsídios fundamentais para a elaboração de planos de manejo e estratégias de conservação. Além disso, a análise detalhada da paisagem possibilita a identificação de áreas prioritárias para a conservação e a implementação de medidas que assegurem a conectividade entre diferentes habitats, essencial para a manutenção da biodiversidade (Ferreira; Nascimento; Benini, 2021; Tavares; Oliveira, 2021).

A análise da paisagem do Pantanal é fundamental para compreender as dinâmicas ecológicas e os processos que moldam esse bioma. Por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, é possível mapear e monitorar as mudanças na cobertura vegetal e no uso do solo, identificando áreas de maior vulnerabilidade e potencial para conservação. Estudos recentes destacam a importância de se avaliar a conectividade entre diferentes habitats e a integridade dos corredores ecológicos, essenciais para a manutenção da biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas e atividades humanas (Ribeiro et al., 2018; Silva et al., 2020).

Além disso, a análise da paisagem permite identificar padrões espaciais e temporais de incêndios, que são cruciais para a sobrevivência de muitas espécies. A variação sazonal no regime hidrológico do Pantanal cria uma diversidade de habitats que sustentam uma rica fauna e flora. Compreender esses padrões é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo que minimizem os impactos das mudanças ambientais e garantam a conservação dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelo Pantanal (Alho et al., 2019).

O Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro (PEPRN) é um exemplo significativo de unidade de conservação no Pantanal. Este parque foi criado pelo Decreto nº 9.941 em 5 de junho de 2000, abrangendo inicialmente uma área de 78.300 hectares. Em 2020, sua área foi atualizada para 76.802,62 hectares pelo Decreto Estadual nº 15.554. A gestão do parque envolve monitoramento constante e a implementação de estratégias de manejo que visam mitigar os impactos das atividades humanas e das mudanças climáticas. Além disso, o parque serve como um importante local para pesquisas científicas, fornecendo dados valiosos sobre a ecologia e a dinâmica dos ecossistemas pantaneiros (IMASUL, 2020).

Pinto et al. (2020), ao analisar a efetividade de planos de manejo para os parques estaduais de Mato Grosso do Sul, destacam que o PEPRN apresentou o melhor nível de desenvolvimento sustentável. Esse resultado decorre do fato de o parque fazer parte de um corredor ecológico, localizado em uma região do Pantanal circundada por várias Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN's). Além disso, a região como um todo pertence à planície de inundação do rio do Rio Aquidauana e do rio Negro, o que torna a ocupação mais complexa, limitando os impactos antrópicos.

Porém, o PEPRN é carente de informações detalhadas na literatura disponível, com destaque apenas para o estudo de cobertura vegetal conduzido pela Embrapa (Almeida, 2013) e o plano de manejo integrado elaborado pelo IMASUL (IMASUL, 2020). Diante dessa lacuna de conhecimento, o presente estudo tem como objetivo proporcionar dados atualizados e abrangentes que possam subsidiar ações de conservação e manejo sustentável no parque. A metodologia adotada envolve a utilização de dados previamente disponíveis e processados por técnicas de sensoriamento remoto, complementados por visitas a campo, visando uma análise mais precisa e integrada do ecossistema do Pantanal.

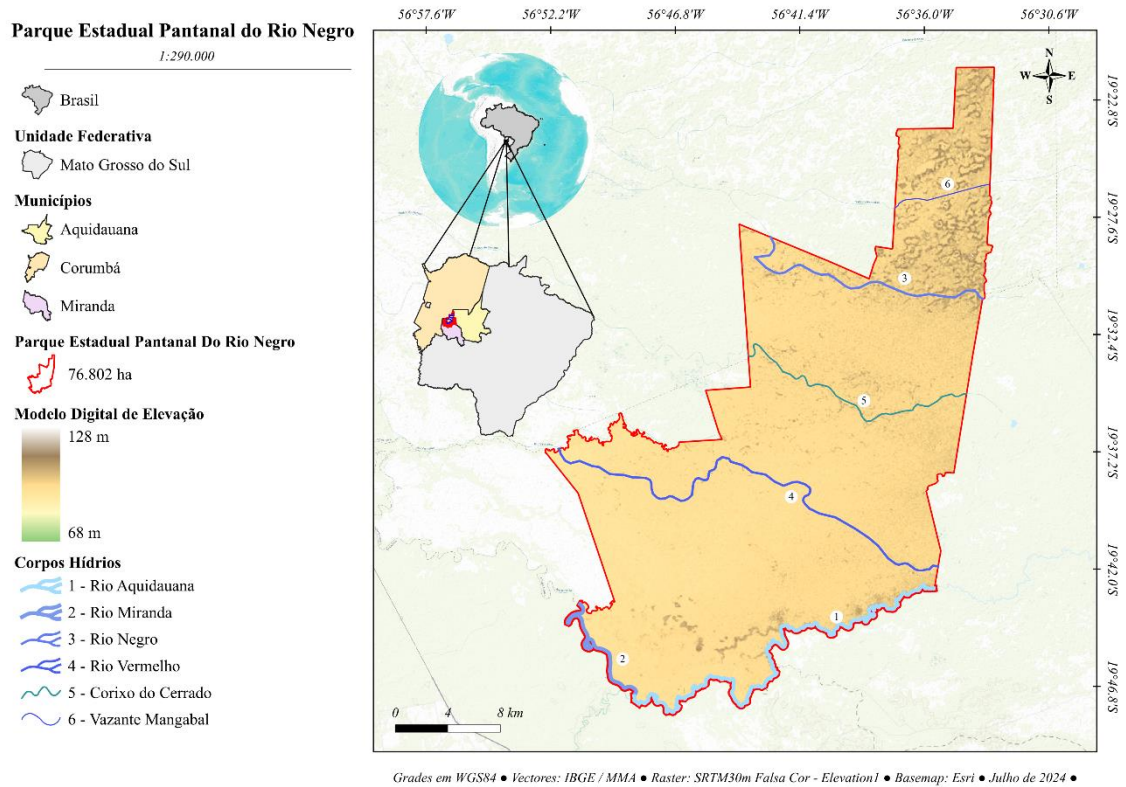
METODOLOGIA

AREA DE ESTUDO

Localizado no estado do Mato Grosso do Sul, o Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro tem seus 76.802,62 hectares distribuídos entre os municípios de Aquidauana e Corumbá. Aproximadamente 89,29% da área do parque está localizada em Aquidauana e 10,71% em Corumbá. O parque faz limite ao sul com o município de Miranda, sendo a fronteira sul definida pelos cursos dos rios Miranda e Aquidauana (fig. 1). Além desses

rios, o parque é atravessado pelos rios Negro e Vermelho, e conta com outros corpos hídricos, como o Corixo⁶ do Cerrado e a vazante Mangabal.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo o qual está destacada em vermelho.



Fonte: Elaborado pelo autor

Nas classificações de sub-regiões do Pantanal, o parque está localizado na Nhecolândia. Esta região é caracterizada por suas lagoas de águas salobras e doces, vegetação de cerrado e campos alagáveis, e uma fauna rica e diversificada, adaptada ao regime de inundação sazonal.

As cotas altimétricas da área de estudo revelam uma média de 97,75 metros, com elevações variando entre 69 e 140 metros. A pouca variação coincide com a literatura que descreve o Pantanal como uma planície. No entanto, é importante notar que os dados de relevo são provenientes do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e representam

⁶ Corixo é um termo utilizado no Pantanal brasileiro para designar cursos de água que ligam baías, lagoas, rios e vazantes, distintos de rios (fluxo contínuo em uma única direção) e lagos (áreas de água parada), estando relacionados com os episódios de cheias e inundações que os alimentam.

um Modelo Digital de Elevação (MDE), que inclui a altura da vegetação e das copas das árvores, não mostrando apenas a topografia do terreno em si.

ANALISES TEMPORAIS

Como forma padrão para comparação de dados observados seja de qualquer parte do globo, se definiu as Normais Climatológicas (NC) pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, WMO-Nº 100, 1983; 2011). As NC, correspondem as medias das variações de registros atmosférico em períodos de no mínimo 30 anos, sendo 1º de janeiro de 1901 a 31 de dezembro de 1930, 1º de janeiro de 1931 a 31 de dezembro de 1960, 1º de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 1990 e assim por diante. Esse trabalho fez o recorte temporal referente ao período de 01 de janeiro de 1990 a 31 de dezembro de 2023.

O Serviço geológico Americano (USGS) e o Grupo de estudo de Riscos Climáticos da Universidade da California, Santa Barbara (UCSB), desenvolveram um conjunto de dados de precipitação (CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) o qual foi usado nesse trabalho. Nesse produto, as estimativas de precipitação são compostas por diversas fontes de informações:

- The Climate Hazards Group's Precipitation Climatology (CHPClim);
- Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (Thermal Infrared, TIR), geoestacionárias quase globais da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Centro de Previsão Climática (CPC) e o National Climatic Data Center Climáticos (NCDC);
- Campos de Precipitação do Coupled Forecast System da NOAA, versão 2 (CFSv2);
- Diversas observações de precipitação através de produtos de estações meteorológicas e outros serviços regionais.

Esses dados, chamado de reanálises, estão em uma resolução de 0,05° (5km aproximadamente).

Costa, Pereira, et al (2019), analisaram e compararam os dados do CHIRPS com os de 183 estações meteorológicas do INMET/CPTEC e chegaram a conclusão que os dados são confiáveis para utilização em distintas finalidades relacionadas as pesquisas climáticas no Brasil.

Para os valores de temperatura do ar, foram utilizados dados de reanálises de outra fonte, provenientes do ERA5, produzido pelo European Centre for Medium-Range

Weather Forecasts (ECMWF). O ERA5 é uma reanálise climática que combina modelos meteorológicos com dados observacionais históricos para criar uma representação contínua e consistente do estado da atmosfera, do solo e dos oceanos ao longo do tempo. Os dados são disponibilizados em resoluções horária, diária ou mensal, com uma grade espacial de 30 km.

O ERA5 cobre desde janeiro de 1950 até o presente, oferecendo uma ampla gama de variáveis atmosféricas, como temperatura, umidade, vento, pressão e precipitação, além de dados sobre os oceanos e a superfície terrestre (Hersbach et al., 2020; ECMWF, 2023).

Para o mapeamento de cobertura do solo, foi realizada uma média de todas as imagens do satélite Landsat 8 para o ano de 2023, selecionando especificamente aquelas que estavam livres de nuvens. O algoritmo de classificação Random Forest foi aplicado para identificar e categorizar as diferentes classes de uso e cobertura do solo. A validação dos resultados foi realizada através de verificações em campo.

Para analisar o histórico e a frequência de fogo, foi realizada uma média dos últimos 20 anos utilizando imagens de satélite Landsat e o índice de Vegetação Normalizada por Queimadas (NBR). A coleta de imagens ocorreu sempre que foi sinalizada a ocorrência de fogo na região, com base nos dados do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas). Inicialmente, foram identificadas as ocorrências de fogo registradas no BDQueimadas e, em seguida, coletadas as imagens correspondentes da série Landsat. Aplicou-se o índice NBR a cada imagem para identificar áreas afetadas pelo fogo, uma vez que este índice é sensível a mudanças na vegetação devido a queimadas.

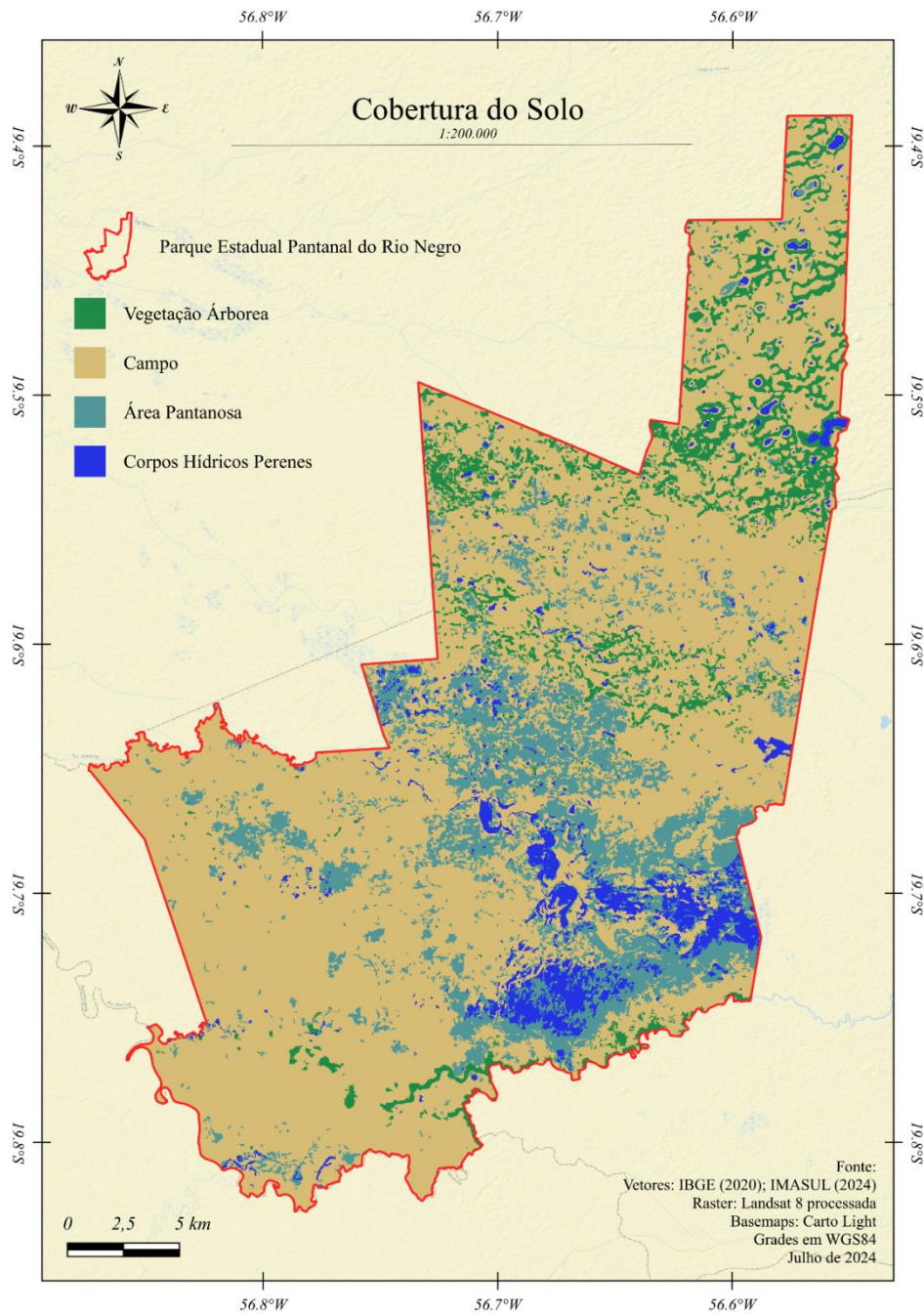
As bandas NIR e SWIR são escolhidas devido à sua sensibilidade às mudanças na vegetação e na superfície terrestre causadas pelo fogo. O NIR (Near-Infrared) abrange comprimentos de onda de aproximadamente 0,7 a 1,3 micrômetros e é particularmente sensível à vegetação, pois a clorofila nas plantas reflete intensamente a luz NIR. Isso permite distinguir áreas com vegetação saudável (que refletem muito NIR) de áreas com vegetação escassa ou degradada. As imagens NIR são usadas para avaliar a saúde e a densidade da vegetação, identificar corpos d'água e monitorar mudanças na cobertura do solo. Já o SWIR (Shortwave Infrared) abrange comprimentos de onda de aproximadamente 1,4 a 3 micrômetros e é sensível à umidade no solo e na vegetação. A

água absorve fortemente a luz SWIR, então áreas úmidas ou com alta umidade mostram baixa refletância nesta faixa. As imagens SWIR são usadas para detectar umidade no solo e na vegetação, identificar minerais e tipos de solo, monitorar queimadas e avaliar a severidade dos incêndios. O NBR é particularmente eficaz na detecção de áreas queimadas, pois o fogo tende a reduzir a refletância no NIR e aumentar a refletância no SWIR, resultando em valores negativos do índice em áreas afetadas por queimadas (Key & Benson, 2006; Miller & Thode, 2007; Landsat Science, 2023).

RESULTADOS

O mapeamento de cobertura do solo (fig. 2), quantificou que as massas d'água representam 1,8% da área do parque e referem-se aos rios, baías, salinas e vazantes, porém, 36,78% estão representadas como áreas pantanosas, brejos ou alagadas e cerca de 26,32% são áreas de campos que alagam.

Figura 2: Mapa mostrando a cobertura do solo do PEPRN, a parte mais ao norte com suas vegetações arbóreas do tipo capões e cordilheiras, os campos presentes em todo o parque, porem a leste estão alagados e a oeste alagam.

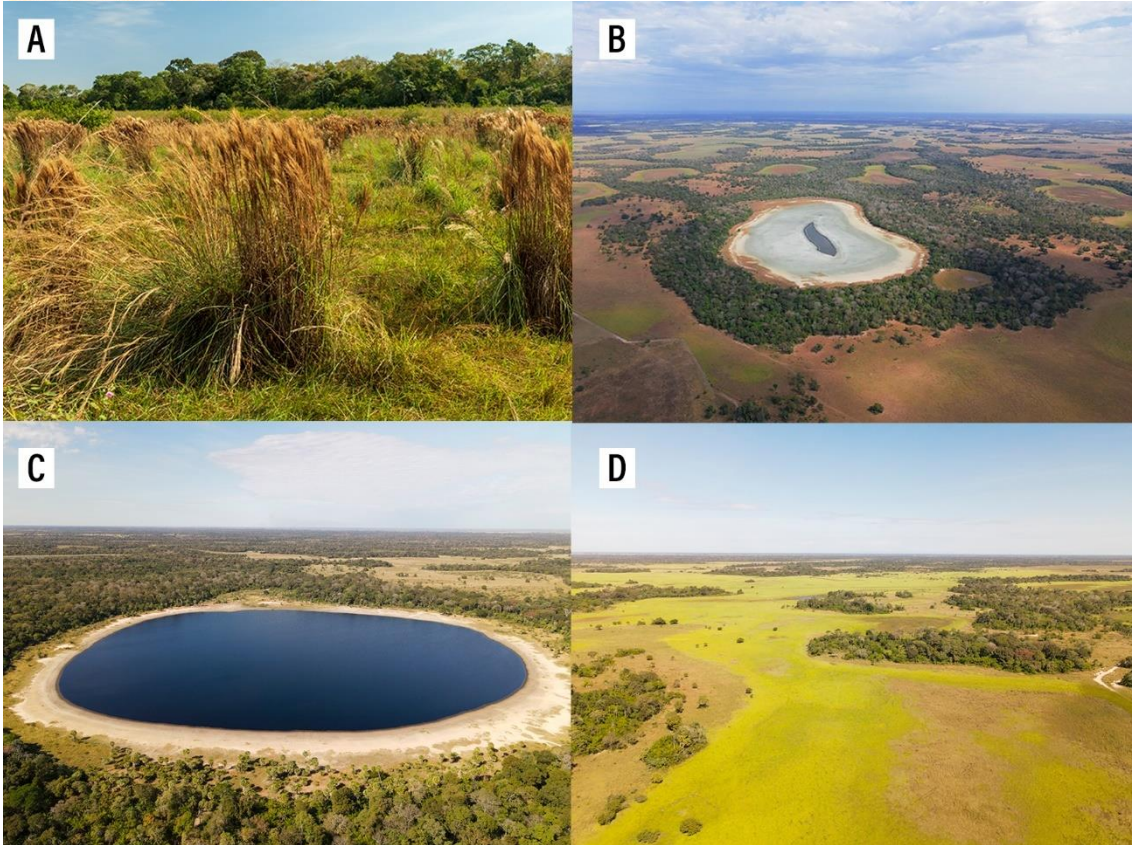


Fonte: Elaborado pelos autores

O PEPRN apresenta três fitofisionomias distintas. A porção mais ao norte é caracterizada por baías, salinas, campos do tipo savana, cordilheiras e capões compostos por formações florestais com árvores típicas da Floresta Estacional Semidecidual. A região centro-sudeste possui campos alagados com vegetação de arbustos, trepadeiras, gramíneas, ciperáceas e mata ciliar composta por formações monodominantes. Já a região centro-sudoeste é marcada por campos que alagam e matas ciliares com uma maior diversidade entre suas árvores.

1 - Na região norte, há predominância de baías e salinas, as quais são bem protegidas pelas cordilheiras, faixas de formações florestais com árvores de 8 m a 20 m de altura, assim como grandes campos ocupados por formações savânicas, como cerrados stricto sensu e Cerrado florestados (fig. 3). Nesta área, a vegetação de campo é dominada por espécies como rabo-de-burro (*Andropogon bicornis* L.), squizachirio (*Schizachyrium* Nees) e capim carona (*Elyonurus muticus* (Spreng.) Kuntze). Extremamente presente nessa região está a *Brachiaria* (Trin.) Griseb, capim exótico que forma campos a perder de vista. As áreas de cordilheiras são bem representadas por árvores como Ipê (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Carandá (*Copernicia alba* Morong), Angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan), Cambará (*Vochysia divergens* Pohl), Tarumã (*Vitex cymosa* Bertero ex Spreng.), Bocaiúva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) e Guazuma (*Guazuma ulmifolia* Lam.) e Manduvi (*Sterculia apetala* (Jacq.) H. Karst.). Árvores de porte médio como Lixeira (*Curatella americana* L.) e Canjiqueira (*Byrsonima* Rich. ex Kunth) também são comuns, entremeadas por arbustos e plantas rasteiras como o Araticum (*Annona coriacea* Mart.).

Figura 3: Fotos da parte norte: A) Vista para a vegetação, onde em primeiro plano temos o rabo-de-burro e ao fundo as cordilheiras. B) Vista de uma salina envolta por cordilheiras e campos. C) Uma baía cercada por cordilheiras. D) Campo aberto onde todo o verde claro são braquiárias.

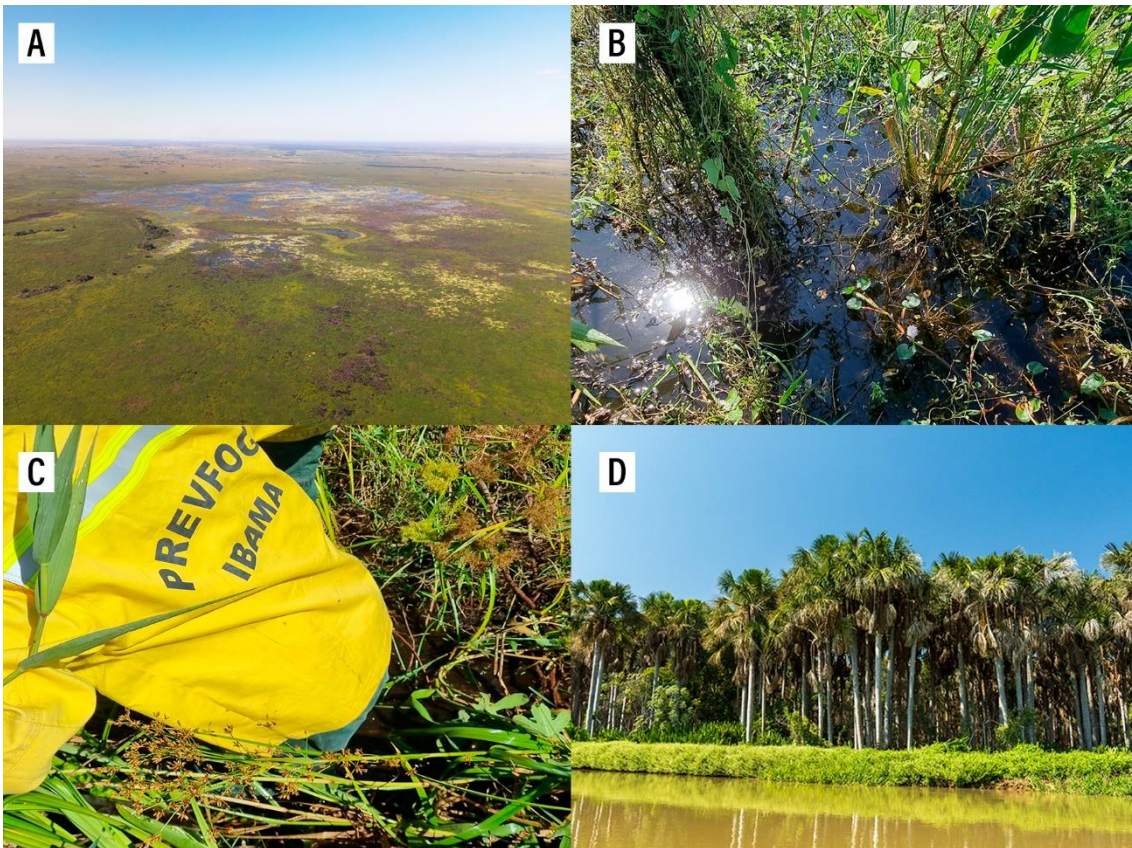


Fonte: Acervo pessoal

2 - No centro do parque, estendendo-se até a parte sudeste, encontra-se uma imensa planície alagada, uma área de brejo (Fig. 4). Incluem-se os “espinherais” onde predominam espinheiros (*Byttneria filipes* Mart. ex Schum. E *Mimosa pellita* Humb. & Bonpl. ex Willd.). Grandes campos de buritis (*Mauritia flexuosa* L.f.) formam a mata ciliar ao longo do rio Aquidauana, também foram avistadas áreas com bastantes Acuris (*Attalea phalerata* Mart. ex Spreng.), exclusivamente na porção mais ao sul.

Figura 4: Fotos da parte centro-sudeste: A) Vasta planície alagada com áreas de vegetação aquática e alguns corpos d'água menores espalhados pela paisagem. B) Close-up da área de brejo. C) Foto mostrando a grande dificuldade de acesso às áreas pantanosas devido à vegetação densa e à cobertura d'água que em alguns pontos chegou na altura dos peitos de um homem de 1,80cm. D) Monodominância de buritis (*Mauritia*

flexuosa) ao longo da margem do Rio Aquidauana.

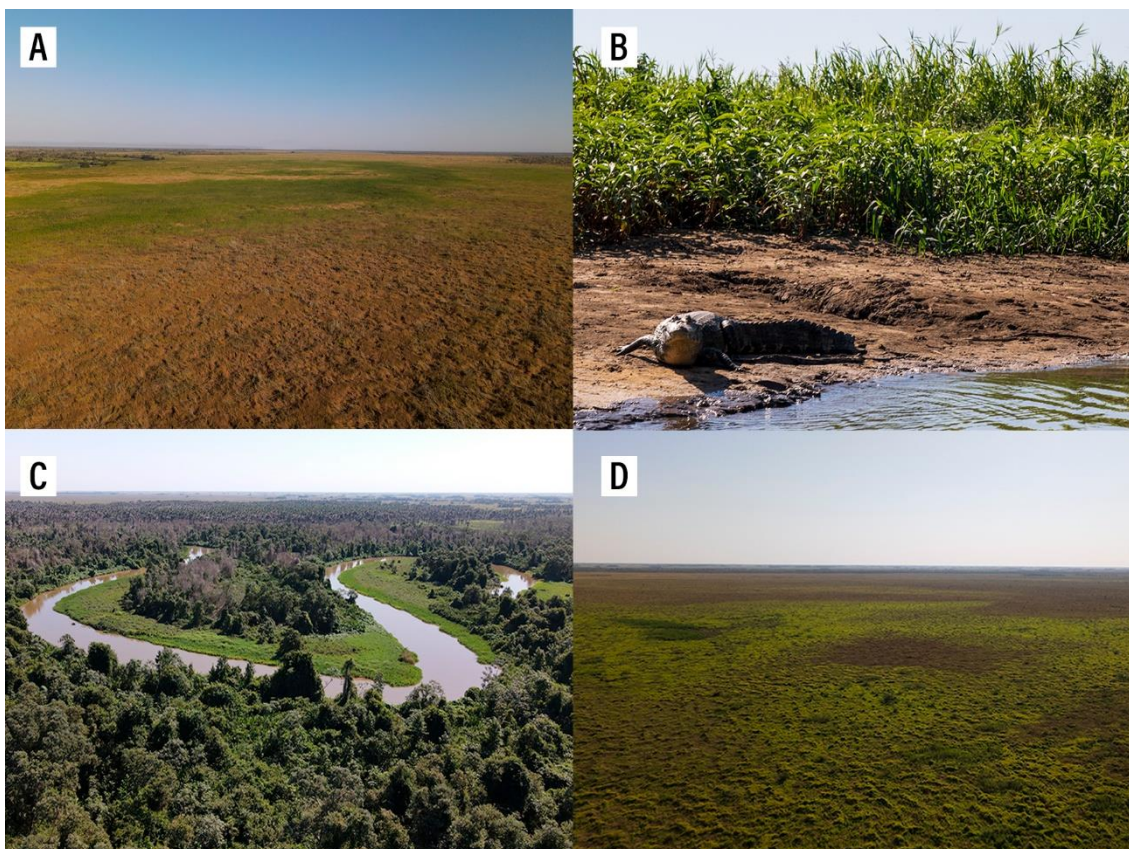


Fonte: Acervo pessoal

3 - Da porção central em direção ao sudoeste, a paisagem é caracterizada por campos que alagam (Fig. 5). Capim-mimoso (*Axonopus purpusii* (Mez) Chase, *Reimarochloa* Hitchc. & Chase spp., *Paratheria prostrata* Griseb.) formam os chamados campos limpos. Nessa região, a mata ciliar do Rio Miranda apresenta um número maior de espécies, contendo paratudos (*Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore), Piuvas (*Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo), Acuri (*Attalea phalerata* Mart. ex Spreng.), Ipê (*Handroanthus Mattos* spp.), Carandá (*Copernicia alba* Morong), Angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan), entre outros. Entre os canais de inundação que se formam nessa região, como o do rio Negrinhos, podem ser observados muitos baceiros. As margens que não continham vegetação arbórea estavam em sua maioria compostas por Arraial (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc.), Capim-navalha (*Paspalum* L. spp.), Taboa (*Typha domingensis* Pers.).

Figura 5: Parte centro-sudoeste do Parque: A) e D) mostram campos que alagam, B) jacaré descansando à margem do Rio Miranda e, ao fundo, vegetação do tipo gramínea e C) a sinuosidade do Rio Miranda com sua mata ciliar composta por uma mescla de

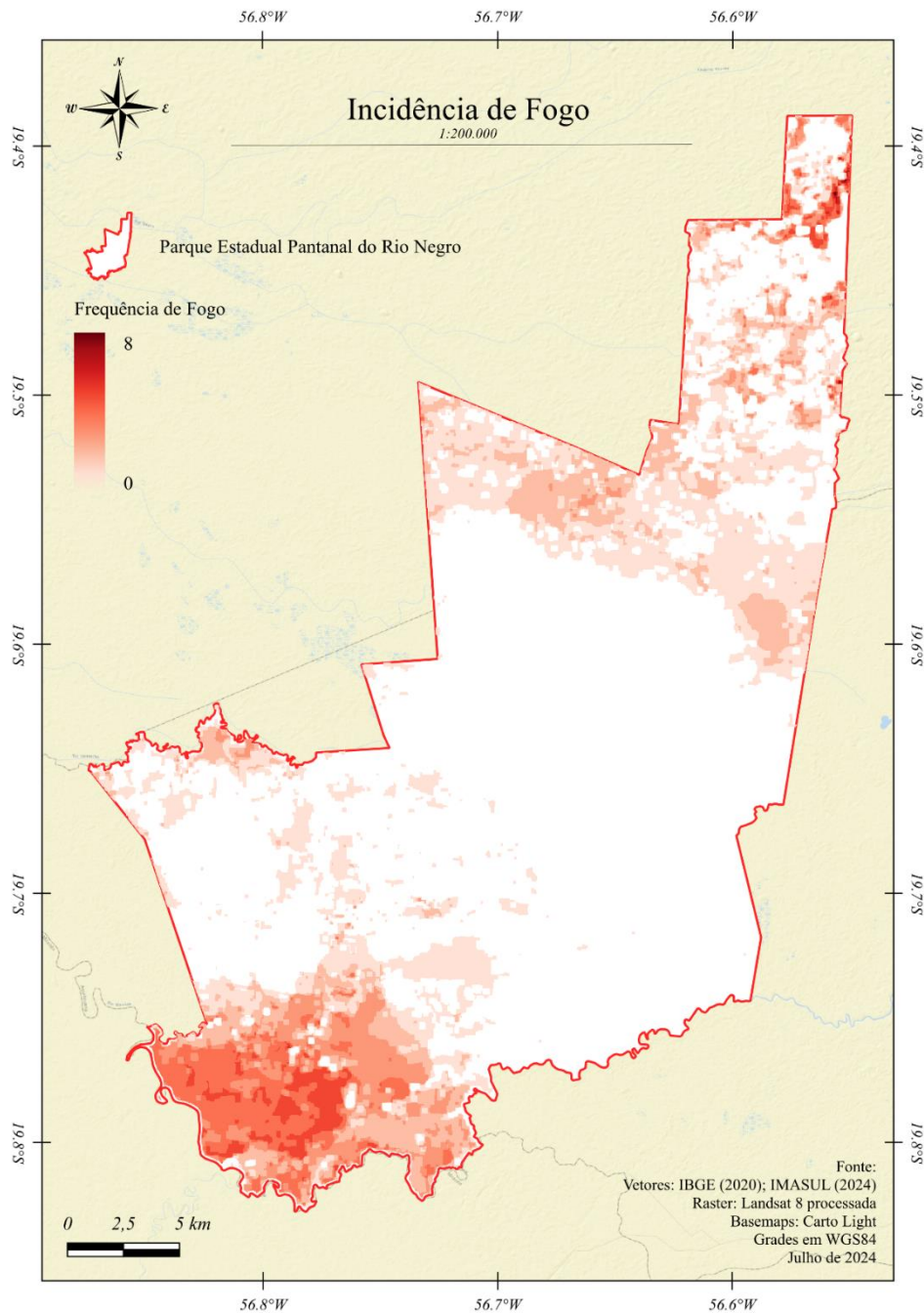
árvores e muita vegetação do tipo lianas.



Fonte: Acervo pessoal

Em relação às áreas de cobertura do solo, observa-se que a área central pantanosa apresenta uma notável ausência de ocorrências de fogo (fig. 6). As áreas com maior propensão a incêndios são as de campo, localizadas ao norte e ao sudoeste do parque. As áreas do sudoeste são particularmente vulneráveis devido à característica de, durante a inundação, esses campos produzirem muita biomassa. Quando chega o período de estiagem e a água escoa, essa biomassa seca e se torna combustível para os incêndios.

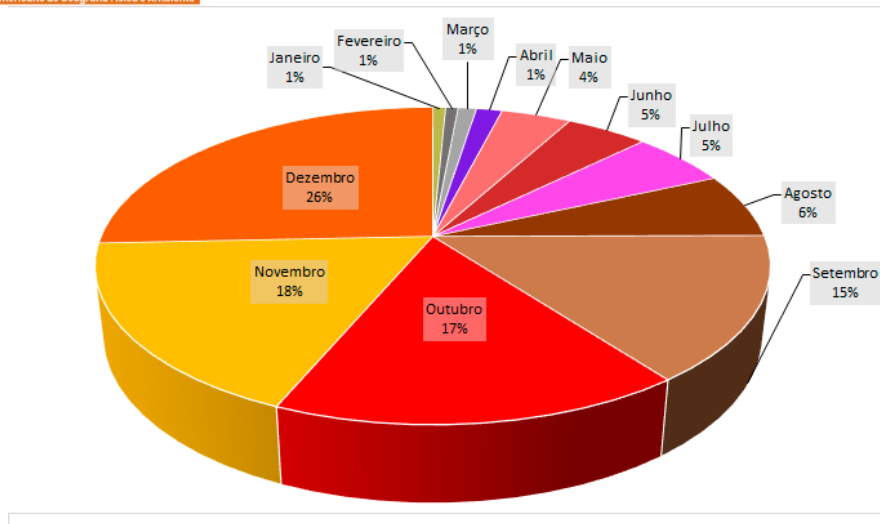
Figura 6: O mapa mostra a recorrência de fogo no PEPRN nos últimos 20 anos. A frequência de fogo é representada por um gradiente de cores que vai do branco (0) nunca pegou fogo, ao vermelho escuro (8) onde mais recorreu o fogo, indicando a quantidade de ocorrências de fogo em diferentes áreas do parque.



Fonte: Elaborado pelos autores

Ao analisar o período de maior ocorrência de incêndios na média geral dos últimos 20 anos, observa-se que os meses de dezembro, seguidos por novembro e outubro, apresentam as maiores incidências (fig. 7). O quadrimestre inicial do ano é caracterizado por períodos mais tranquilos. Pode-se inferir que a temporada de incêndios tem início em setembro.

Figura 7: Gráfico abaixo mostra a distribuição mensal da ocorrência de incêndios no PEPRN nos últimos 20 anos.



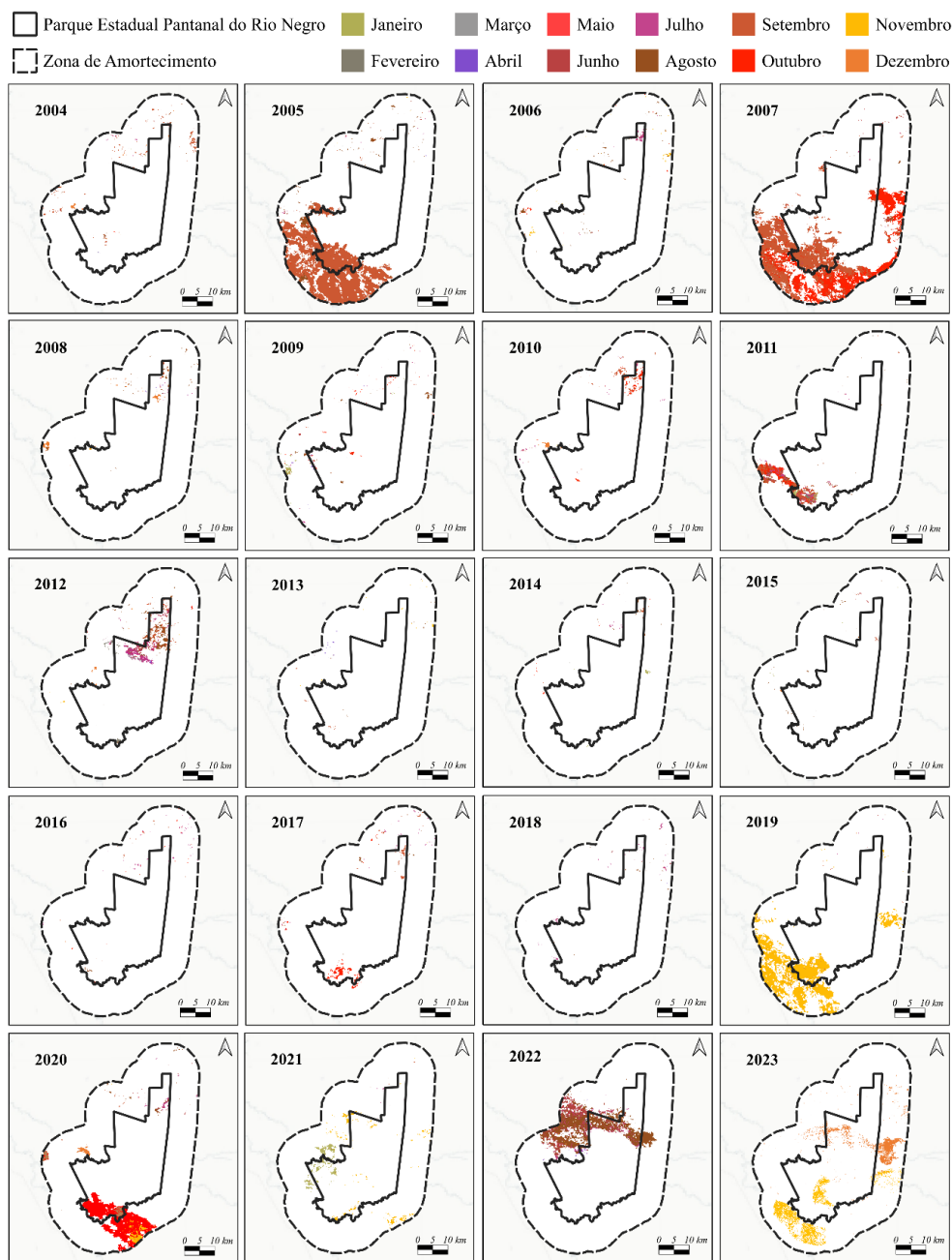
Fonte: Elaborado pelos autores

É relevante destacar que dezembro lidera essa lista devido a um evento atípico ocorrido no final de 2023, quando um grande incêndio elevou a média de ocorrências neste mês, destacando-o. Caso não fosse por essa ocorrência específica, os meses críticos seriam novembro, outubro e setembro, respectivamente. Podemos observar essa especialização dos incêndios nos mapas presentes na Figura 8.

O ano de 2023 foi atípico em relação aos recordes de calor, conforme anteriormente mencionado. Novembro, em particular, registrou a onda de calor mais intensa já documentada no Brasil. Estudos recentes, como o de Libonati et al. (2022), demonstram uma relação entre ondas de calor e o aumento da ocorrência de incêndios. Além disso, sugere-se a utilização de ondas de calor como indicadores para alertar sobre períodos críticos de incidência de incêndios.

Figura 8: Mapa abaixo apresenta a distribuição espacial mensal do histórico de fogo no PEPRN nos últimos 20 anos. A zona de amortecimento definida em 10km é apresentada para mostrar que o fogo não se restringiu apenas ao limite da zona de conservação.

HISTÓRICO DE FOGO MENSAL



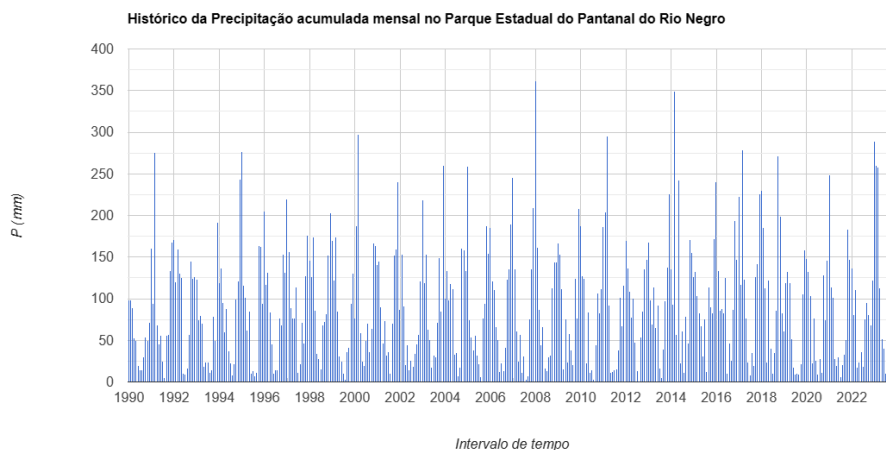
Fonte: Elaborado pelos autores

A normal climatológica revela uma constância no regime pluviométrico ao longo dos anos, com variações sazonais caracterizadas pela concentração das chuvas nos meses de novembro a março, atingindo seu ápice em dezembro e janeiro. A análise sequencial dos dados dos últimos 30 anos indica que as precipitações estão se tornando mais concentradas, com o período chuvoso se iniciando mais tarde e a estiagem começando mais cedo. A média anual de precipitação para o parque é de 1076 mm.

As alterações nos padrões climáticos têm implicações significativas no regime de queima do parque. Observa-se que o parque é suscetível a incêndios nos meses com maior índice pluviométrico. Contudo, com o início das chuvas ocorrendo cada vez mais tarde e as temperaturas mais elevadas, acompanhadas de uma maior frequência de ondas de calor, prevê-se um aumento na recorrência dos incêndios.

A dinâmica dos incêndios está diretamente relacionada com a distribuição das precipitações. A normal climatológica apresentada na Figura 9 evidencia que os meses de inverno tendem a ser os mais secos, resultando na temporada de incêndios que atinge seu ápice em setembro. A escassez de precipitação durante esses meses resulta em grande quantidade de biomassa que seca, e serve como combustível para os incêndios.

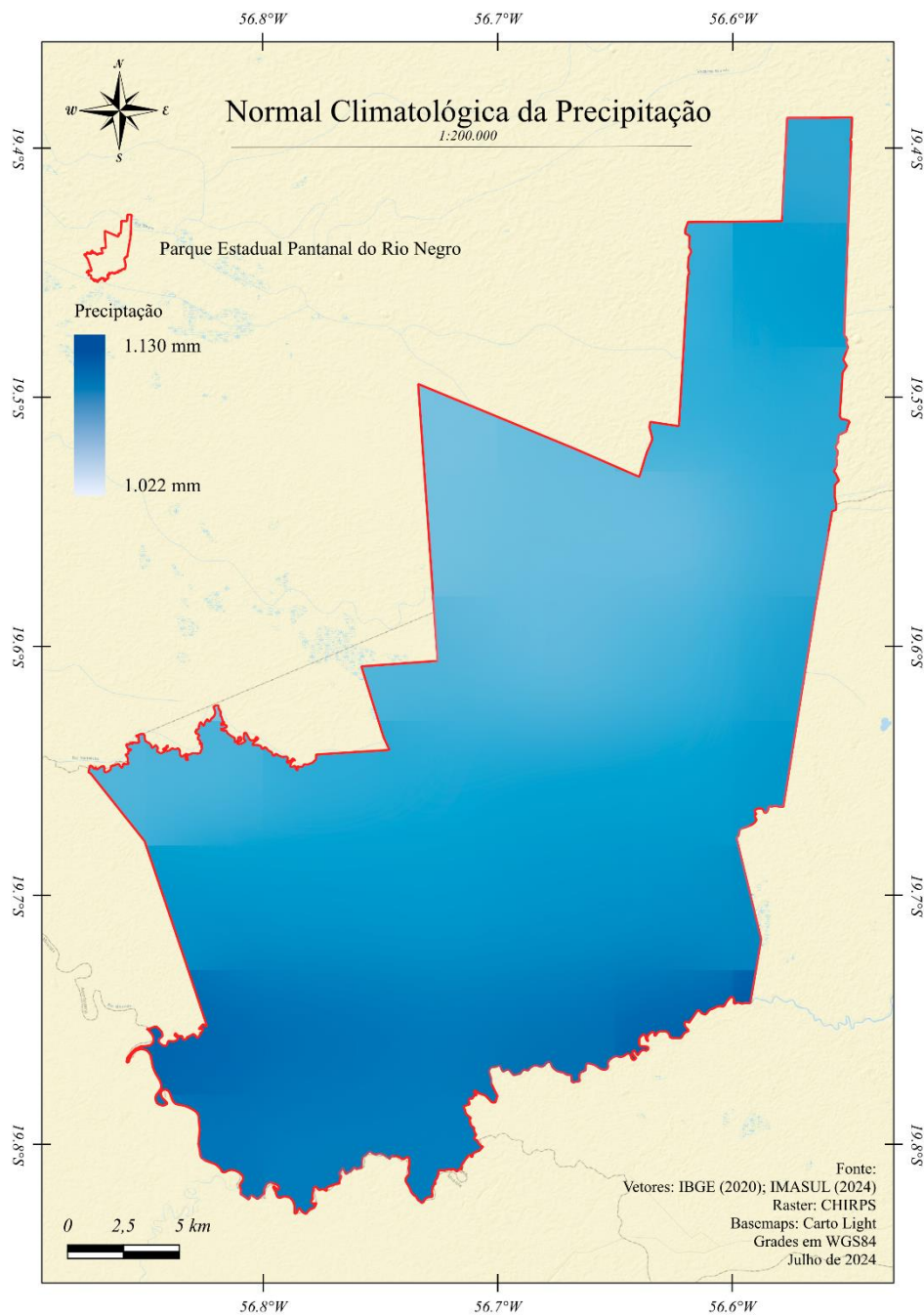
Figura 9: Gráfico com a Normal Climatológica da Precipitação no PEPRN.



Fonte: Elaborado pelos autores

Na figura 10 abaixo, observa-se que a distribuição da precipitação é mais intensa nas regiões meridionais do parque, porém bem distribuídas por toda a sua área.

Figura 10: O mapa de Normal Climatológica da Precipitação no Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro apresenta a distribuição espacial das precipitações na região. A precipitação é expressa em milímetros (mm) e varia de 1022 mm a 1130 mm.

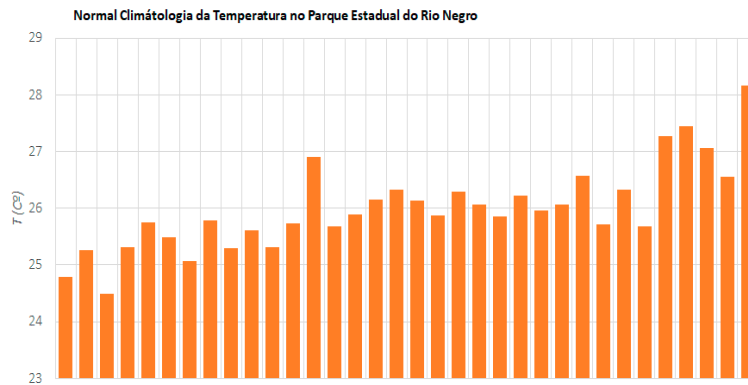


Fonte: Elaborado pelos autores

Sobre os dados de temperatura, temos uma tendência crescente ao longo dos anos. As maiores temperaturas são registradas nos meses de outubro, novembro e dezembro. Além disso, 2023 apresentou as temperaturas mais elevadas já registradas até então na área de estudo (Figura 11), indicando uma intensificação do aquecimento local. Esses dados são corroborados por estudos recentes que apontam para o aumento das temperaturas globais e seus impactos regionais (Smith et al., 2024).

Os dados também se relacionam com uma pesquisa recente do INPE (2023), que revelou um aumento considerável no número de dias com temperaturas acima do normal, alcançando 52 dias entre 2011 e 2020 em vários pontos do Brasil. O estudo também apontou um aumento gradual das temperaturas máximas em diversas regiões do país.

Figura 11: Gráfico com a Normal climatológica da temperatura no PEPRN.



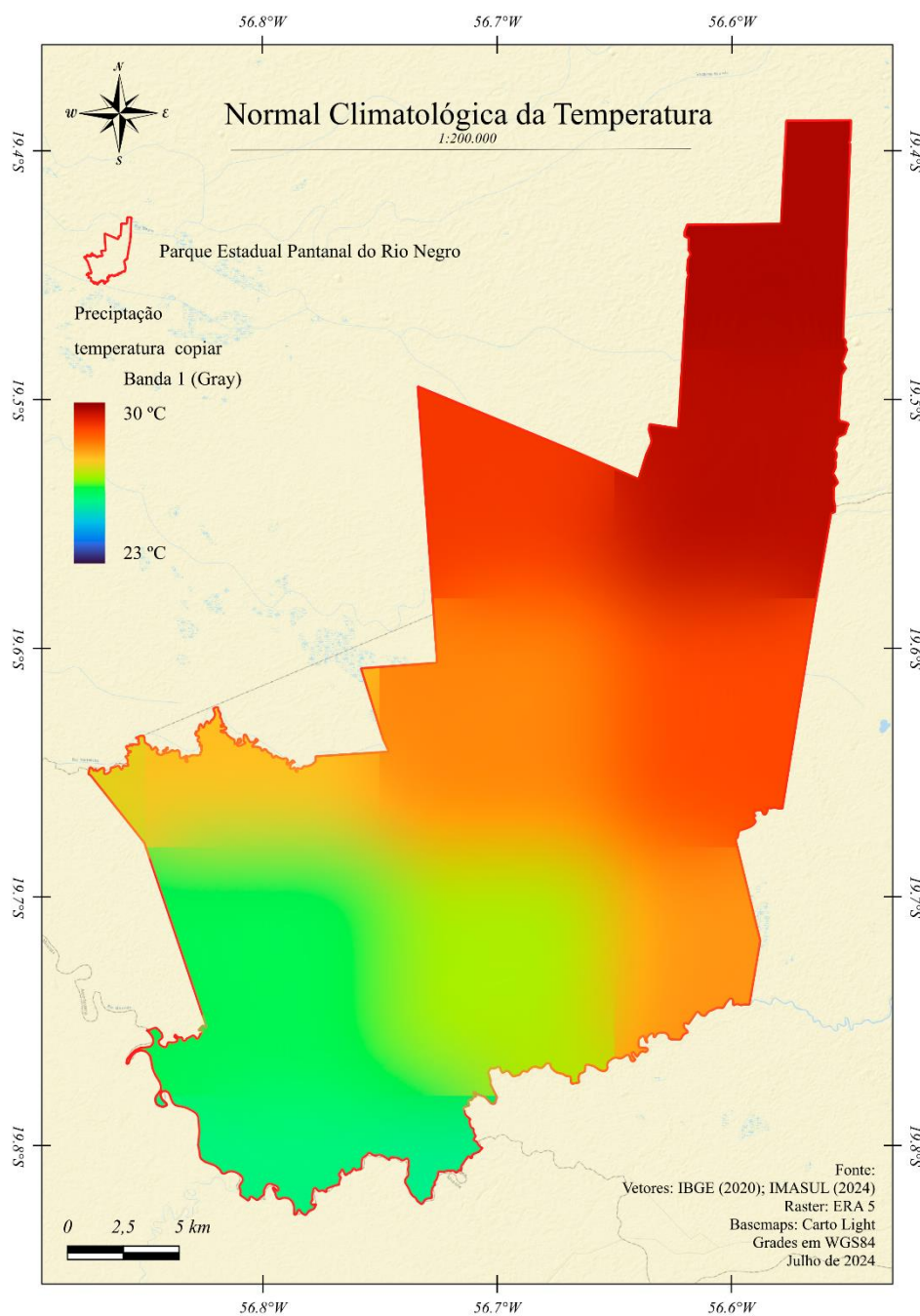
Fonte: Elaborado pelos autores

Ao analisar a distribuição dessas temperaturas, temos diferenças de amplitude térmicas (7°C) significativas nas áreas do parque. A parte norte, destacada em vermelho escuro no mapa da figura 12, apresenta as temperaturas mais altas, atingindo até 30°C na normal climatológica. As áreas ao sul e sudoeste, representadas em verde e amarelo, mostram temperaturas mais baixas, em torno de 23°C.

O mapa revela a influência de fatores geográficos e climáticos na distribuição das temperaturas no parque, destacando a existência de vários microclimas locais. A parte norte do parque recebe menos precipitação, o que reduz a umidade disponível para evapotranspiração, contribuindo para temperaturas mais altas. Porém, seria preciso estudos mais detalhados e aprofundados para tentar entender o fenômeno, fatores como albedo, média radiante e ventos devem também ser considerados e não estão presentes nesse estudo.

Figura: O mapa de Normal Climatológica da Temperatura mostra a distribuição espacial das temperaturas no Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro. A temperatura

varia de 23°C a 30°C.



Fonte: Elaborado pelos autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Pantanal, sendo uma das maiores áreas úmidas do planeta, possui uma importância ambiental e econômica imensurável, abrigando uma rica biodiversidade. A preservação deste bioma é crucial, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e atividades humanas. O PEPRN destaca-se como uma unidade de

conservação essencial, contribuindo para a proteção e manejo sustentável dos recursos naturais do Pantanal.

Os dados coletados e analisados ao longo deste estudo revelam a complexidade e a diversidade das fitofisionomias presentes no PEPRN, desde áreas de baías e salinas no norte até campos alagados no centro-sudeste e campos sazonalmente alagados na porção centro-sudoeste.

A análise das ocorrências de fogo nos últimos 20 anos mostrou uma alta frequência de incêndios nos meses de setembro a dezembro. A relação direta entre a distribuição das precipitações e a dinâmica dos incêndios foi evidenciada, destacando a importância de se criar um manejo integrado do fogo priorizando as áreas com as maiores recorrências de fogo.

A análise climática revelou uma tendência de aumento das temperaturas e uma mudança no padrão de precipitação, com o período chuvoso se iniciando mais tarde e a estiagem chegando mais cedo. Este estudo enfatiza a necessidade contínua de pesquisa e monitoramento para garantir a preservação não somente do parque, mas de todo o bioma Pantanal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à bolsa de pesquisa concedida ao autor João Batista Ferreira Neto pela Fundação de Apoio da UFMG (Fundep) e ao autor Kassio Samay Ribeiro Tavares pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo n.º 2022/12891-6. Também agradecemos ao Núcleo de Estudos do Fogo em Áreas Úmidas (NEFAU) do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) por viabilizar o trabalho.

REFERENCIAS

ALHO, C. J., MAMEDE, S. B., BENITES, M., ANDRADE, B. S., & SEPÚLVEDA, J. J. Ameaças à biodiversidade do Pantanal Brasileiro pelo uso e ocupação da terra. *Ambiente & Sociedade*, 22, e01891. 2019.

ALMEIDA, F. G. Cobertura Vegetal do Parque Estadual Pantanal do Rio Negro (PEPRN) - MS. Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/630957/cobertura-vegetal-do-parque-estadual-pantanal-do-rio-negro-peprn--ms>. Acesso em: 9 jul. 2024.

ANTUNES, A. C.; LAMPARELLI, R. A. C.; RODRIGUES, S. C. Impacto das mudanças climáticas no regime hidrológico do Pantanal. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 27, n. 3, p. 345-357, 2015.

ARRUA, Bruno Arguelho; CARVALHO, Leonardo Sousa; TELES, Thiago Silva; OLIVEIRA, Maxwell da Rosa; RIBEIRO, Danilo Bandini. Fire Has a Positive Effect on the Abundance of Sun Spiders (Arachnida: Solifugae) in the Cerrado-Pantanal Ecotone. *Fire*, v. 6, n. 69, p. 1-12, 2023.

BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Flora do Brasil 2020. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: 14 jul. 2024.

BRUMATTI, L.; BUCHERONI, A. Pantanal, tudo fica bem quando o fogo se apaga? *Revista SUSTINERE*, v. 14, p. 593-605, 2020.

CHAVES, T. P.; SOUZA, S. M.; FREITAS, A. C. Pantanal, tudo fica bem quando o fogo se apaga?. *Revista SUSTINERE*, v. 14, p. 593-605, 2020.

COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. da. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>.

FERREIRA, A. A. L., NASCIMENTO, E. S., & BENINI, S. M. Análise da Paisagem: Estudo de caso da crise hídrica em Foz do Iguaçu-PR. *Revista Científica ANAP Brasil*, 14(32). 2021.

HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>. Acesso em: 13 jul. 2024.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL (IMASUL). Plano de Manejo do Parque Estadual Pantanal do Rio Negro. 2020. Disponível em: <http://www.servicos.ms.gov.br/imasuldownloads/PlanosdeManejo/planomanejoPEPRN.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2024.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio, and ground measure of severity, the Composite Burn Index. In: LUTES, D. C. et al. (Eds.). *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. Ogden: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006. General Technical Report RMRS-GTR-164-CD: LA 1-51.

KEDDY, P.A.; FRASER, L.H.; SOLOMESHCH, A.I.; JUNK, W.J.; CAMPBELL, D.R.; ARROYO, M.T.K.; ALHO, C.J.R. Wet And Wonderful: The World's Largest Wetlands Are Conservation Priorities. *Bioscience*, v. 59, p. 39-51, 2009.

LIBONATI, R.; DACAMARA, C. C.; PERES, L. F.; SANDER DE CARVALHO, L. A.; GARCIA, L. C. Rescue Brazil's Burning Pantanal Wetlands. *Nature*, v. 588, p. 217-219, 2020.

LIBONATI, Renata et al. Drought–heatwave nexus in Brazil and related impacts on health and fires: A comprehensive review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1517, 2022. DOI: 10.1111/nyas.14887.

MATAVELI, G.; de OLIVEIRA, G.; LIBONATI, R.; SILVA-JUNIOR, C.H.L.; ANDERSON, L.O. Novel Approaches and Techniques for Understanding Vegetation Fires in South America. *Fire*, v. 6, p. 275, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6070275>.

MARTINS, A. T.; SOUZA, S. M.; FREITAS, A. C. Pantanal, tudo fica bem quando o fogo se apaga? *Revista SUSTINERE*, v. 14, p. 593-605, 2020.

MILLER, J. D.; THODE, A. E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, v. 109, n. 1, p. 66-80, 2007. DOI: 10.1016/j.rse.2006.12.006.

MORAES, A. S.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA, E. F.; FERREIRA, M. E. Dinâmica de inundações no Pantanal. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2017.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; ZOFFOLI, H. J. O. Caracterização dos solos hidromórficos do Pantanal. *Científica, Jaboticabal*, v. 41, n. 1, p. 82–93, 2013.

NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v. 398, p. 505-508, 1999.

OLIVEIRA, Maiby Teodoro de; FERREIRA, Bruno Henrique da Silva; SOUZA, Elisângela Borges de; LOPES, Anderson Alves; BOLZAN, Felipe Pereira; ROQUE, Fabio de Oliveira; POTT, Arnildo; PEREIRA, Ana Maria Moreira; GARCIA, Leandro Costa; DAMASCENO, Geraldo Alves. Indigenous Brigades Change the Spatial Patterns of Wildfires, and the Influence of Climate on Fire Regimes. *Journal of Applied Ecology*, v. 59, p. 1279-1290, 2022.

PINTO, Jorge Souza; SOUZA, Celso Correia; PINTO, André Luiz; PINTO, Valéria Peron de Souza; OPPLIGER, Emília Alibio; OLIVEIRA, Ademir Kleber Morbeck. Análise da efetividade de planos de manejo para o desenvolvimento sustentável em parques estaduais de Mato Grosso do Sul. *Tamoios*, 2020. DOI: 10.12957/tamoios.2020.

SILVA, J. dos S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 10, p. 1703-1711, out. 1998.

SILVA, J. R.; MATOS, D. C.; ROQUE, F. O.; FERREIRA, M. E.; OLIVEIRA, M. T.; NOGUEIRA, F. A. C.; MENEZES, L. S.; CAMPOS, A. C. B. R.; FERREIRA, L. G. Fire impact in the Pantanal and its relation with the environment. *Fire*, v. 6, n. 2, p. 277, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/fire6020277>.

SHIMABUKURO, Y. E.; de OLIVEIRA, G.; PEREIRA, G.; ARAI, E.; CARDOZO, F.; DUTRA, A. C.; MATAVELI, G. Assessment of Burned Areas during the Pantanal Fire Crisis in 2020 Using Sentinel-2 Images. *Fire*, v. 6, p. 277, 2023. DOI: 10.3390/fire6070277.

TAVARES, K. S. R., & DE SOUZA, D. S. L. Levantamento Bibliométrico Dos Estudos Da Análise Da Paisagem No Cerrado Brasileiro: Bibliometric Survey Of Landscape Analysis Studies In The Brazilian Cerrado. *Espaço Em Revista*, 24(1), 239-263. 2022.

TAVARES, K. S. R.; OLIVEIRA, I. J. Bases Teórico-Conceituais Das Propostas Metodológicas De Mapeamento Da Vulnerabilidade E Fragilidade Ambiental. *Planeta Amazônia: Revista Internacional De Direito Ambiental E Políticas Públicas*, 13, 43-54. 2022.

TOMAS, W. M.; CAMILO, A. R.; SOUSA, M. L. S.; SARTORELLO, L. R. Impactos dos incêndios no Pantanal sobre a fauna de vertebrados. *Biodiversidade Brasileira*, v. 10, n. 2, p. 175-187, 2021.