



Diagnóstico do impacto de incêndios em macro *habitat* na RPPN SESC Pantanal sobre o ponto de vista de dados multiespectrais obtidos por RPAS/drone

Gustavo Manzon Nunes^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0002-5124-5898>

* Contato principal

Cátia Nunes da Cunha²

 <https://orcid.org/0000-0002-5990-3437>

Nubia Silva¹

 <https://orcid.org/0000-0001-5458-883X>

¹ Universidade Federal de Mato Grosso/UFMT, Departamento de Engenharia Florestal, Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias/LabSensoR-FENF, Cuiabá/MT, Brasil. <gustavo.nunes@ufmt.br, nubiaengflorestal@gmail.com>.

² Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Áreas Úmidas/INAU; Universidade Federal de Mato Grosso/UFMT, Cuiabá/MT, Brasil. <biocnc@gmail.com>.

Recebido em 11/03/2024 – Aceito em 03/12/2024

Como citar:

Nunes GM, Nunes da Cunha C, Silva N. Diagnóstico do impacto de incêndios em macro *habitats* na RPPN SESC Pantanal sobre o ponto de vista de dados multiespectrais obtidos por RPAS/drone. *Biodivers. Bras.* [Internet]. 2024; 14(4): 202-225. doi: 10.37002/biodiversidadebrasileira.v14i4.2570

Palavras-chave: Áreas Úmidas, Sensoriamento Remoto, Alta Resolução, Análise Temporal.

RESUMO – O ano de 2020 foi impactante devido à alta intensidade de incêndios no Pantanal. Deste modo, foram criados esforços nos mais variados campos do conhecimento para analisar e diagnosticar as causas e consequências desses incêndios. Tendo em vista a inovação com o uso de sensores multiespectrais integrados em RPAS, este trabalho visou monitorar e mapear temporalmente macro *habitat* na RPPN SESC Pantanal, caracterizando a cobertura da vegetação e as severidades causadas pelos incêndios ocorridos no ano de 2020. Foram realizados mapeamentos em três áreas com distintos macro *habitat* para os anos de 2019, 2020 e 2021, utilizando a câmera multispectral Micasense Altum e métodos de processamento avançados. Observou-se maior severidade causada pelos incêndios na Área 3 – Campina, seguida da Área 1 – Mata Seca com Tabocal com Campina e Área 2 – Mata Seca com Acuri. Os macro *habitat* mais afetados foram o Tabocal e Campina, com temperaturas pós incêndio superiores a 65°C. Estudos com dados calibrados e de alta resolução espacial e espectral são fundamentais para a compreensão da dinâmica de ambientes naturais, sobretudo de Áreas Úmidas que são altamente sensíveis. Os resultados obtidos permitem a melhor gestão da reserva e fornecem informações para órgãos ambientais de esfera estadual e federal acerca dos impactos dos incêndios no bioma Pantanal, subsidiando ações de conservação de Áreas Úmidas.



Diagnostic of the impact of fires on macro *habitat* in the PRNH SESC Pantanal from the point of view of multispectral data obtained by RPAS/drone

Keywords: Wetlands, Remote Sensing, High Resolution, Temporal Analysis.

ABSTRACT – The year 2020 was impactful due to the high intensity of fires that occurred in the Pantanal. In this way, efforts were created in the most varied fields of knowledge to analyze and diagnose the causes and consequences in the environment. Considering the innovation with the use of multispectral sensors integrated into RPAS, this work aimed to monitor and temporally map existing macro *habitat* in the PRNH SESC Pantanal, allowing the characterization of vegetation coverage and the severity caused by the fires that occurred in 2020. Three areas with distinct macro *habitat* were mapped for the years 2019, 2020 and 2021, using the Micasense Altum multispectral camera and advanced processing methods. The Area 3 – Campina, had the highest level of severity in the impact of the fires, followed by Area 1 – Mata Seca with Tabocal with Campina and Area 2 – Mata Seca with Acuri. The most affected macro *habitat* were Tabocal and Campina, where with thermal data information was obtained on temperatures in degrees Celsius above 65°C in the areas affected after the fire. Studies using calibrated data with high spatial and spectral resolution are fundamental for the complete radiography of natural environments, especially humid areas that are highly sensitive. The results obtained allow better management of the reserve and effective results for state and federal environmental agencies regarding the impacts of fires in the Pantanal biome, allowing subsidizing actions aimed at the conservation of Wetlands.

Diagnosis del impacto del fuego sobre los macro *hábitat* en RPPN SESC pantanal desde el punto de vista de datos multiespectrales obtenidos por RPAS/drone

Palabras clave: Humedales, Teledetección, Alta Resolución, Análisis Temporal.

RESUMEN – El año 2020 fue impactante por la alta intensidad de incendios ocurridos en el Pantanal. De esta manera, se crearon esfuerzos en los más variados campos del conocimiento para analizar y diagnosticar las causas y consecuencias en el medio ambiente. Considerando la innovación con el uso de sensores multiespectrales integrados en RPAS, este trabajo tuvo como objetivo monitorear y mapear temporalmente los macro *hábitat* existentes en la RPPN SESC Pantanal, permitiendo caracterizar la cobertura vegetal y la severidad causada por los incendios ocurridos en 2020. Se realizaron mapeos en tres áreas con diferentes macro *hábitat* para los años 2019, 2020 y 2021, utilizando la cámara multiespectral Micasense Altum y métodos avanzados de procesamiento. El Área 3 – Campina, tuvo el mayor nivel de severidad en el impacto de los incendios, seguida por el Área 1 – Mata Seca con Tabocal con Campina y el Área 2 – Mata Seca con Acuri. Los macro *hábitat* más afectados fueron Tabocal y Campina, donde con datos térmicos se obtuvo información de temperaturas en grados centígrados superiores a 65°C en las zonas afectadas tras el incendio. Los estudios que utilizan datos calibrados con alta resolución espacial y espectral son fundamentales para la radiografía completa de ambientes naturales, especialmente áreas húmedas que son altamente sensibles. Los resultados obtenidos permiten una mejor gestión de la reserva y resultados efectivos para las agencias ambientales estatales y federales sobre los impactos de los incendios en el bioma Pantanal, permitiendo subsidiar acciones dirigidas a la conservación de los Humedales.

Introdução

As áreas úmidas (AUs) encontram-se em um cenário preocupante: um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo, mesmo após a criação de tratados internacionais que incentivam o seu inventário e ações de proteção [1]. São áreas de importância ecológica e econômica, além de poderem influenciar climas locais e regionais graças a suas interações dinâmicas com a atmosfera [2].

A convenção de Ramsar reconhece o Pantanal entre os ambientes aquáticos mais importantes mundialmente, onde situa-se a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Sesc Pantanal, criada em 1997. Essa unidade de conservação (UC) particular reconhecida como sítio Ramsar desde 2001 [3], é considerada uma área prioritária para conservação da biodiversidade [4].

Durante o ano de 2020, o bioma Pantanal enfrentou a seca mais severa das últimas décadas, acompanhada de temperaturas quase recordes [5][6], culminando na ocorrência de incêndios catastróficos. Espera-se que a modulação da seca pelo aquecimento da temperatura da superfície do mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico continue impactando o Pantanal [7], contribuindo para ampliar a suscetibilidade do bioma às queimadas.

Com o advento das geotecnologias, as aplicações das técnicas de coleta de dados através de sensores e processamento de imagens têm sido empregadas em diversas áreas do conhecimento. No mapeamento e classificação de áreas úmidas, o sensoriamento remoto tem demonstrado bons resultados [8]. Uma tecnologia recentemente lançada no mercado, e que tem apresentado boa aceitação em pesquisas sobre vegetação, são as aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) [9][10]. Em estudo realizado por [11] utilizando análise orientada a objetos (OBIA), pesquisadores mapearam a cobertura vegetal e a dinâmica de ocorrência de uma espécie de samambaia que se proliferou em uma área úmida de Vereda, no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (Mato Grosso, Brasil), em resposta a uma queima prescrita. Nesse sentido, pode-se inferir que o fogo atuou como renovador da vegetação e, até um ano após a queima, foi suficiente para inibir o crescimento da samambaia no mesmo local,

dando oportunidade de estabelecimento de outras espécies, como gramíneas, mesmo que em pequenas quantidades.

Em pesquisa realizada por [12], envolvendo o manejo integrado do fogo (MIF) e utilizando a câmera multiespectral Micasense Altum, foi avaliado o efeito das queimadas prescritas realizadas em 2021 em três áreas dentro da RPPN Sesc Pantanal. Análises de dados multiespectrais e térmicos foram conduzidos em parcelas de 1 ha em três períodos do ano: temporada de queima precoce (período do ano com mais umidade), intermediária e tardia (período do ano mais seco). A classificação do uso e cobertura da terra utilizando o sensor multiespectral e a banda termal possibilitou diferenciar a cobertura vegetal antes e após as queimadas. O processamento com a geração do índice de área queimada (BAI) indicou que as queimadas prescritas foram mais eficientes em macro *habitat* campestres, reduzindo as espécies de gramíneas. Além disso, evidenciou-se que a prática do MIF com queimadas precoces e intermediárias, realizadas antes do período auge de estiagem, é a melhor opção para reduzir o acúmulo de biomassa.

Tendo em vista a inovação com o uso de sensores multiespectrais integrados em RPAS, esta pesquisa teve como objetivo mapear temporalmente os macro *habitat* existentes em três áreas de estudo na RPPN Sesc Pantanal entre os anos de 2019 a 2021. Essa abordagem visa caracterizar a cobertura da vegetação e avaliar os impactos causados por incêndios ocorridos no ano de 2020.

Material e métodos

Área de estudo

A área em que foi realizado este estudo é uma UC federal de uso sustentável denominada Reserva Natural do Patrimônio Particular (RPPN) Sesc Pantanal (Figura 1), e possui uma área total de 106.308,85 ha. A UC está situada no estado de Mato Grosso, município de Barão de Melgaço, a 140 km da capital, Cuiabá, na mesorregião Centro-Sul, microrregião do Alto Pantanal, entre as coordenadas geográficas 16° 28' 31" Sul e 56° 30' 5" Oeste [13]. A área é considerada plana, com altitudes variando entre 101 e 117 metros [3].

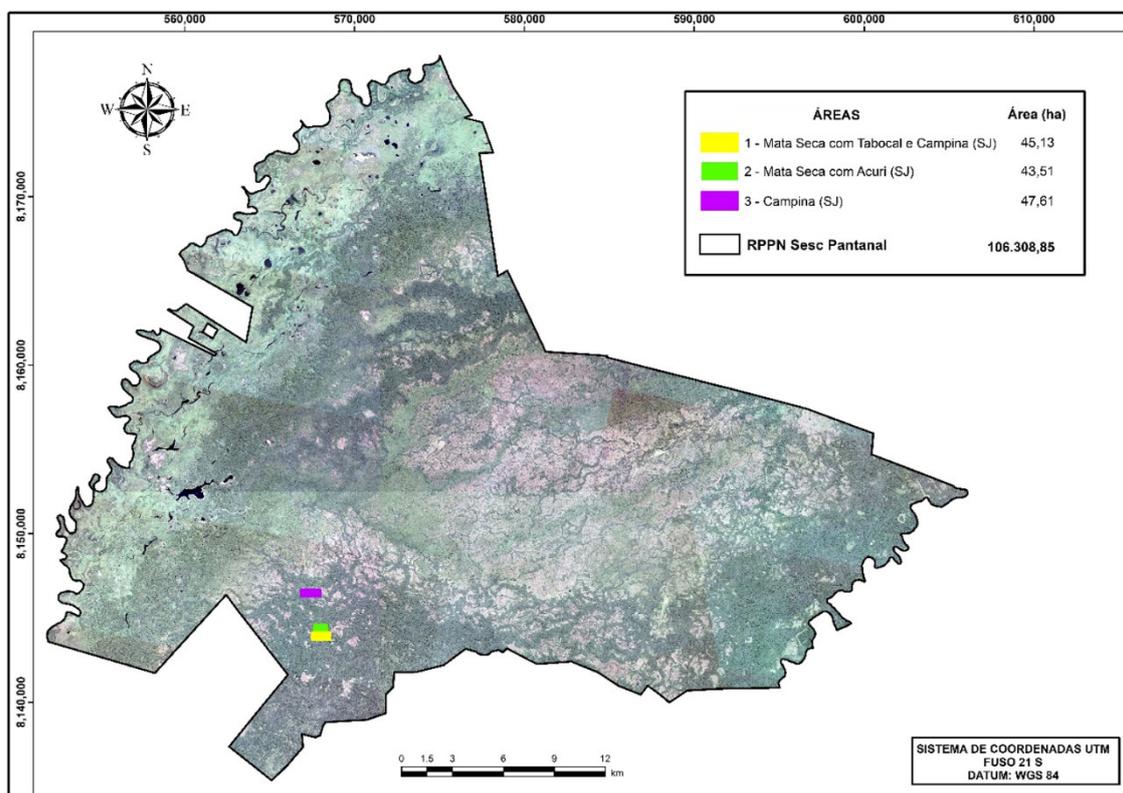


Figura 1 – Localização das áreas analisadas na Reserva Particular de Patrimônio Natural Sesc Pantanal.

Para a demarcação e seleção das áreas no mapeamento, consideramos a composição de espécies, heterogeneidade ecológica e diversidade de tipologias existentes com base em análises de campanhas de campo prévias, além de estudos pretéritos desenvolvidos no monitoramento da RPPN. O Quadro 1 apresenta a relação das três áreas de estudo selecionadas na RPPN, e na

Figura 1 encontra-se suas localizações. As áreas possuem nomenclaturas distintas considerando a maior dominância dos macro *habitat* existentes em cada uma delas. As Áreas 1 e 2 possuem os macro *habitat* de mata seca, tabocal e campina e acurizal; e a Área 3 possui os macro *habitat* de mata seca, campina e acurizal. A caracterização dos macro *habitat* identificados em cada área de estudo será apresentada nas seções a seguir.

Quadro 1 – Áreas estudadas na RPPN Sesc Pantanal.

ÁREAS	NOMENCLATURAS
Área 1	Mata seca com tabocal e campina
Área 2	Mata seca com acuri
Área 3	Campina

Mata seca

A mata seca possui grande semelhança fisionômica, tendo em vista a composição de espécies arbóreas, e uma maior densidade de árvores adultas, com pouco espaçamento entre si, o que faz com que as folhas das copas se toquem no período úmido. O sub-bosque é pouco desenvolvido, sendo comum a presença de gravatás no solo e da palmeira acuri, com baixa densidade de indivíduos.

Na RPPN Sesc Pantanal essa formação parece ser uma transição entre as formações mata com acuri e o campo com murundus (leste e nordeste da Reserva). Dessa forma, o registro da palmeira acuri é comum no sub-bosque de áreas de mata seca, embora ocorra com baixa densidade de indivíduos. Alguns indivíduos de taboca podem ser encontrados em áreas de mata seca [14].

Acurizal

As matas de acuri são encontradas em áreas com solos escuros e altos níveis de fertilidade, caracterizadas por um dossel intermediário com predominância da palmeira *Scheeleaphalerata* (*Attaleaphalerata*), popularmente conhecida como acuri. Esse tipo de floresta foi descrito por [15] como “floresta semidecídua facies-*Attalea*”. Depois da palmeira Acuri, as espécies arbóreas mais frequentes são: *Combretum leprosum*, *Tabebuia roseoalbae* *Casearia gossyospiosperma*.

Tabocal

Este macro *habitat*, apresenta espécies arbóreas que formam dossel que variam de 25 a 30 m de altura, com um dossel intermediário repleto de bambus. As matas com bambus são caracterizadas por apresentar no dossel intermediário grandes populações de *Bambusa* sp. (Poaceae) e espécies multicaulinares, como *Coccoloba* sp. [16].

Campina

As campinas são áreas abertas com pouca incidência de espécies arbóreas, possuindo

dominância de vegetação gramíneo-herbácea, em que as espécies de gramíneas podem atingir até dois metros de altura. Essas áreas se localizam em um gradiente topograficamente mais baixo e sazonalmente inundáveis, apresentando formato aproximadamente circular e sendo limitadas por áreas de mata seca, que estão em áreas topograficamente mais altas, normalmente não inundável, coberta por vegetação florestal.

Tabocal

Tabocal é uma fisionomia florestal caracterizada por um estrato arbóreo emergente esparsos e um sub-bosque dominado por taquaras, sendo elas a *Guadua* sp. (Poaceae) e a *Bambusa* sp. (Poaceae).

Segundo [17], as formações tabocal e mata seca apresentam praticamente as mesmas espécies de árvores. O macro *habitat* de tabocal possui menor densidade de indivíduos arbóreos, com significativo espaçamento entre as árvores nas quais, mesmo no período das chuvas, as folhas das copas não se tocam. A baixa densidade de árvores adultas é compensada pela monodominância e alta densidade de taquaras (tabocas) no sub-bosque.

Câmera Micasense Altum

Para a aquisição das imagens da área de estudo e para o processamento, utilizamos o RPAS DJI Matrice 100, no qual integramos a câmera multiespectral Micasense Altum (Figura 2). Essa câmera possui cinco bandas estreitas de alta resolução e um canal de banda termal, produzindo imagens multiespectrais e térmicas da área programada para as missões de voo. Além disso, acompanha um painel de refletância calibrado CRP para aquisição de informações das condições do ambiente e iluminação solar antes e após as missões de voo, possibilitando a calibração espectral para cada uma das bandas.

O Quadro 2 apresenta as características gerais das bandas espectrais da câmera Micasense Altum utilizadas para o mapeamento das áreas de estudo.



Figura 2 – RPAS Matrice 100 com integração da câmera Micasense Altum e DLS 2 (haste esquerda).

Quadro 2 – Intervalos do comprimento de onda das bandas da câmera Micasense Altum.

Banda	Nome da banda	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)
B1	Azul (Blue)	475	20
B2	Verde (Green)	560	20
B3	Vermelho (Red)	668	10
B4	Borda Vermelha (Red Edge)	717	10
B5	Infravermelho próximo (NIR)	840	40
B6	Infravermelho Térmico (LWIR)*	8000-14000	

nm: nanômetros.

*Calibrado radiometricamente.

Aquisição e pré-processamento dos dados obtidos

Para a aquisição das imagens foram capturadas fotografias aéreas por meio das missões de voo planejadas no aplicativo Litchi, utilizando a câmera multiespectral Altum integrada no RPAS DJI Matrice 100. As missões ocorreram nos dias 21 e 22 de novembro de 2019 (antes da ocorrência dos incêndios) e entre os dias três a cinco de novembro de 2020 (posterior aos incêndios). No ano de 2021, as campanhas de campo para os sobrevoos foram realizadas entre os dias 29 de maio a três de junho de 2021.

Para o pré-processamento das imagens, optamos por utilizar o software Agisoft Metashape. Inicialmente, foi realizado o alinhamento das imagens utilizando os algoritmos *Scale Invariant Features Transform* (SIFT) [18][19] e *Structure from Motion* (SfM) [20] para identificar semelhanças entre as fotos, selecionando pontos-chave, zonas homólogas e a calibração dos parâmetros focais. Como resultado, foram gerados os seguintes produtos: ortomosaico multiespectral (bandas B1, B2, B3, B4 e B5) e ortomosaico com a banda termal possuindo as informações em graus Celsius.

Uso de índices de vegetação e obtenção do grau de severidade dos incêndios

O fluxograma apresentado na Figura 3 detalha as etapas do processamento aerofotogramétrico dos dados obtidos pela câmera Micasense Altum integrada no RPAS. O processo inclui a calibração das bandas

espectrais, a geração de índices de vegetação e o uso dos algoritmos *Spectral Information Divergence*, além de técnicas de sensoriamento remoto. Esses procedimentos culminaram na obtenção de mapeamentos que caracterizaram o grau de severidade dos incêndios ocorridos no ano de 2020 para cada área mapeada (Figura 3).

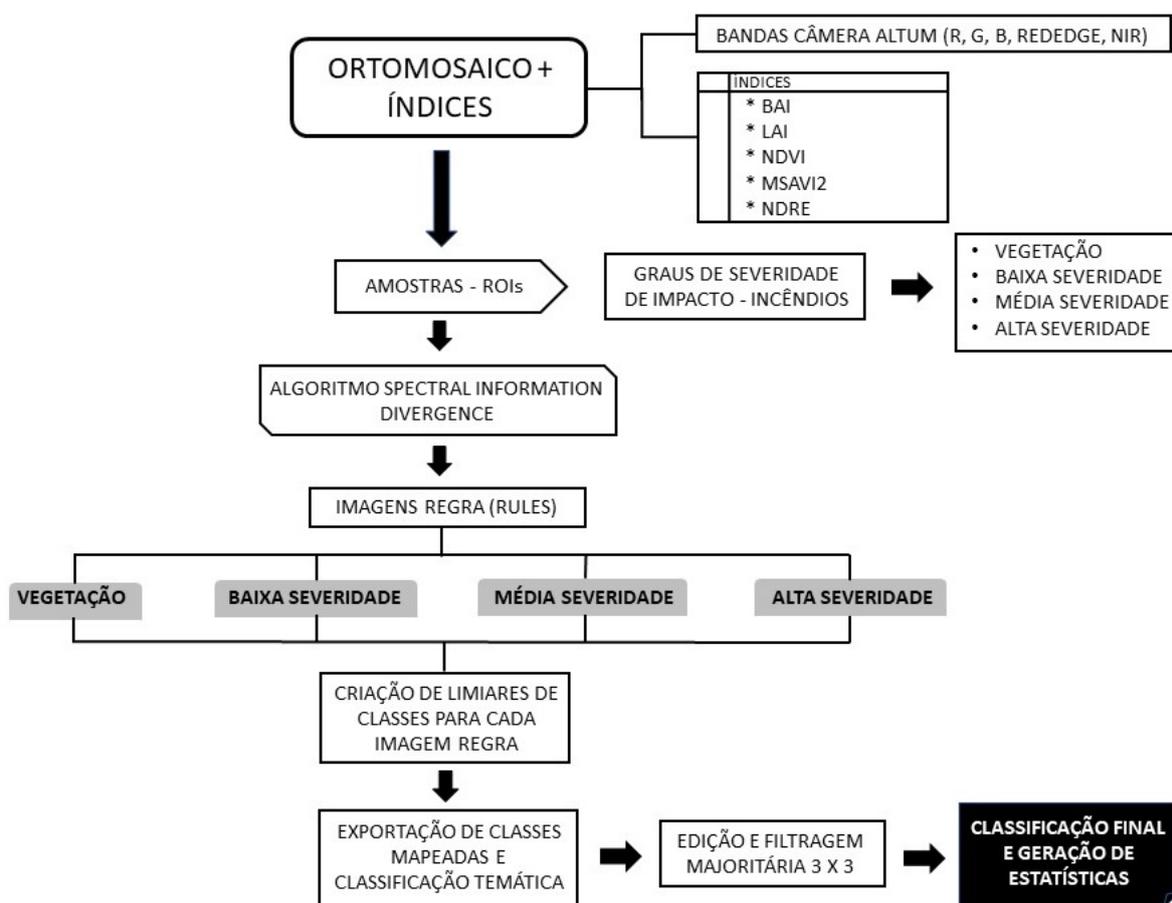


Figura 3 – Fluxograma representando processamentos realizados.

A ortorretificação das imagens aéreas das campanhas de campo nos meses de novembro de 2019, novembro de 2020 e maio-junho de 2021 resultaram em um ortomosaico georreferenciado para cada data em cada área, com GSD (do inglês, *Ground Sample Distance*) de 9 e 10 cm. Esses ortomosaicos foram compostos por cinco bandas espectrais corrigidas radiometricamente: verde (B1-475 nm), vermelho (B2-560 nm), azul (B3-668 nm), borda vermelha (B4-717 nm) e infravermelho próximo (B5-840 nm). A resolução espacial sub-decimétrica fornecida pelas imagens da câmera

Altum possibilitou análise visual e identificação dos macro *habitat* componentes de cada ortomosaico que apresentaram características distintas nas áreas de estudo e suas respostas ao fenômeno do incêndio ocorrido em 2020.

Índices de vegetação (IVs)

Nas três áreas em estudo, durante as primeiras etapas de processamento apresentadas no fluxograma (Figura 3) foram utilizados cinco índices de vegetação (IVs), descritos no Quadro 3:

Quadro 3 – Índices espectrais aplicados no estudo.

Índice	Nome	Autor	Fórmula	Característica
BAI	<i>Burn Area Index</i>	[21]	$\frac{1}{(1,0 - Red)^2 + (0,06 - NIR)^2}$	Usa os valores de refletância na porção vermelha e NIR do espectro para identificar as áreas do terreno afetadas pelo fogo.
LAI	<i>Leaf Area Index</i>	[22]	$(3,618 \times EVI - 0,118) > 0$	Expressa a área foliar por unidade de solo ou área de superfície do tronco de uma planta, comumente aplicado como um indicador da taxa de crescimento de uma planta.
MSAVI2	<i>Modified Soil Adjust Vegetation Index 2</i>	[23]	$\frac{(2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - Red)})}{2}$	Minimiza o efeito do solo descoberto no SAVI. É uma nova camada de imagem que representa o verde da vegetação com valores que variam de -1 a +1
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	[24]	$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	Mais empregado na literatura, é sensível à presença de vegetação verde. Responde às mudanças na quantidade de biomassa verde, conteúdo de clorofila e estresse por água.
RDVI	<i>Renormalized Difference Vegetation Index</i>	[25]	$\frac{(NIR - Red)}{\sqrt{(NIR + Red)}}$	Usa a diferença entre os comprimentos de onda do infravermelho próximo e vermelho, junto com o NDVI, para destacar a vegetação saudável. É insensível aos efeitos da geometria de visualização do solo e do sol.

Análise dos graus de severidade

Para a delimitação da área queimada, bem como da classificação de diferentes severidades, foi utilizado o algoritmo classificador *Spectral Information Divergence* (SID). O SID é um método de classificação espectral que usa uma medida de divergência para combinar pixels com espectros de referência. Quanto menor a divergência, maior a probabilidade de os pixels serem semelhantes [26].

Utilizando as imagens adquiridas em 2020 (pós-incêndio), foi possível gerar quatro classes de severidade: vegetação, baixa severidade, média severidade e alta severidade (Quadro 4). A partir das quatro classes, foram criadas imagens “regra”, que representam a abundância de cada classe na área estudada, permitindo caracterizar variações espectrais a partir de coletas de amostras visando o mapeamento das classes. Posteriormente é possível criar uma classificação para toda a área, envolvendo todas as classes.

Quadro 4 – Graus de severidade de impacto com incêndios ocorridos no ano de 2020.

Grau de severidade	Classe	Descrição
1	Vegetação	Vegetação predominantemente arbórea sem ocorrência de impacto dos incêndios.
2	Baixa severidade	Locais atingidos pelos incêndios, porém com indícios de vegetação fotossinteticamente ativa (início de brotação).
3	Média severidade	Locais com queda de indivíduos arbóreos e existência de acúmulo de material e resíduos lenhosos acima do solo, sem atividade fotossinteticamente ativa.
4	Alta severidade	Locais com maior intensidade calorífica e impacto do fogo, apresentando solo com características espectrais de maior carbonização, sem nenhum material vegetal.

Análise termal para os anos de 2019, 2020 e 2021

Os dados obtidos pela banda 6 (TIR) da câmera Altum, após o processamento, geraram um ortomosaico com valores em graus Celsius (°C) de cada uma das áreas de estudo. Por meio das coletas de valores pontuais de cada classe de vegetação

existente nas áreas mapeadas, foi possível analisar como elas reagiram a ação do fogo. A distribuição das variações de temperatura foi representada em figuras e, complementarmente, os valores de temperatura mínima, máxima e média para cada classe mapeada (campina, mata seca, acurizal e tabocal) evidenciados em quadros.

Resultados e discussão

Área 1 – Mata seca com tabocal e campina

Após as etapas de pré-processamento e

processamentos dos dados, calibração e geração de ortomosaicos multiespectrais para os três períodos analisados, são apresentados os resultados da Área 1 na Figura 4.

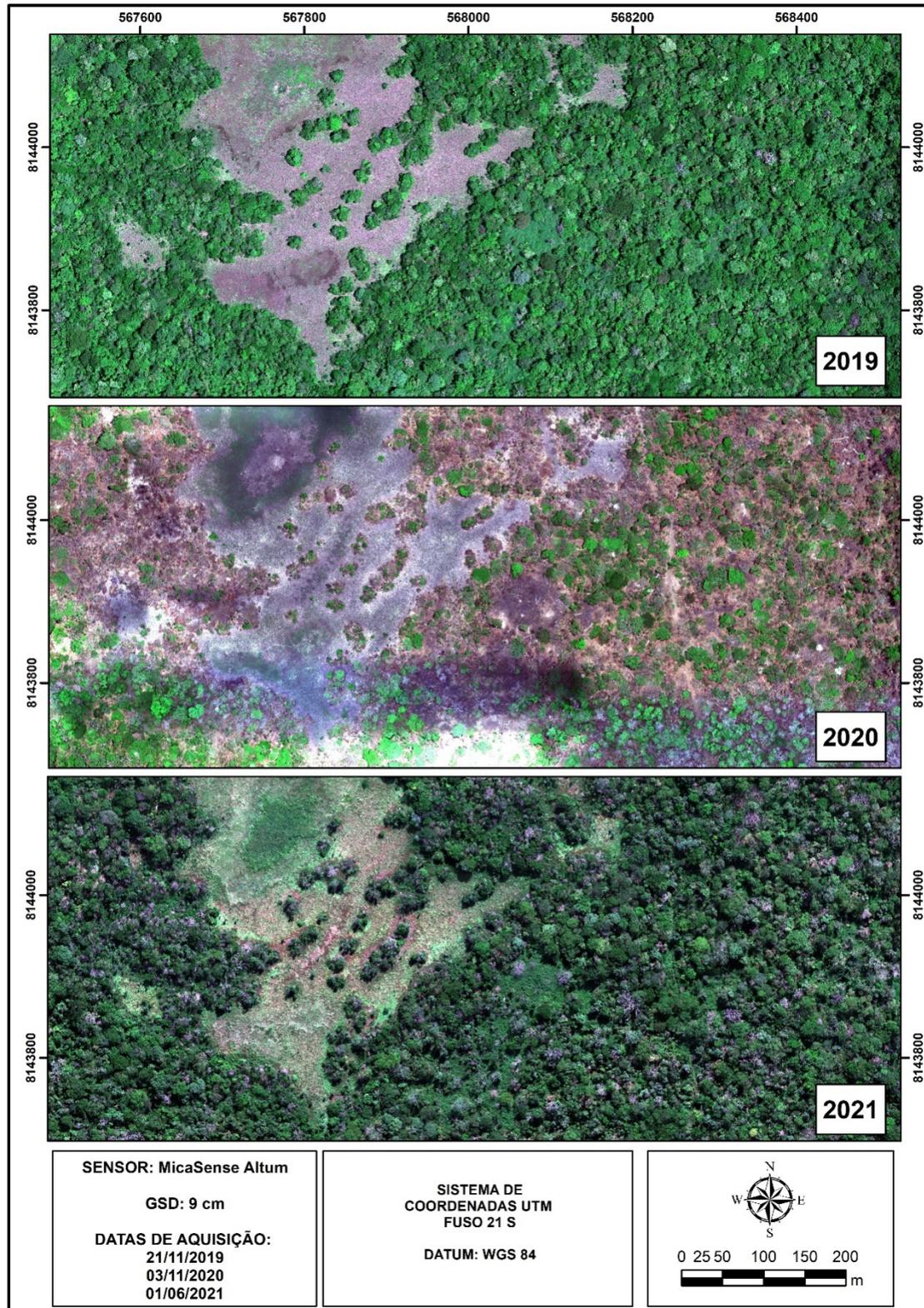


Figura 4 – Ortomosaicos obtidos em 2019,2020 e 2021 da Área 1 – Mata seca com tabocal e campina.

Análise dos graus de severidade da Área 1

O processamento do ortomosaico obtido no ano de 2020 permitiu a caracterização e diferenciação dos níveis de severidade demonstrados na Figura 5. A classe de vegetação representou 15,9% do total da Área 1, sendo que a classe de alta severidade não ultrapassou 34%. Apesar disso, o somatório dos graus de severidade observado foi próximo a 84%.

Considerando as características desse ambiente, que apresenta em sua composição o macro *habitat* de mata seca, comumente densa de espécies arbóreas, juntamente com uma campina com espécies campestres nativas, os resultados obtidos possibilitam inferir que a menor representatividade da área ocupada pela classe de vegetação (em cor verde na Figura 5) reflete a drástica ação do fogo nesses locais.

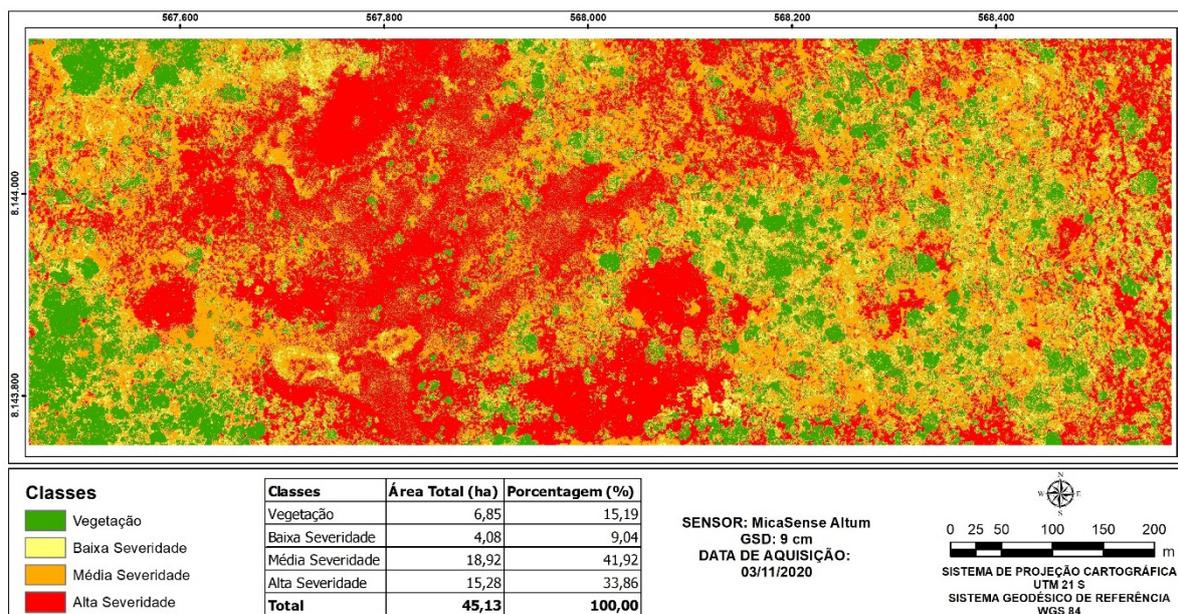


Figura 5 – Classificação dos níveis de severidade de incêndio na Área 1 – Mata seca com tabocal com campina.

Destaca-se as taxas de alta severidade identificadas nos locais de ocorrência dos aglomerados monodominantes de taboca. O macro *habitat* de tabocal é caracterizado pela ocorrência de maciço, comumente denso de indivíduos de taboca aglomerados e entrelaçados. A classificação inferiu que este macro *habitat* sofreu grande impacto

pela ação do fogo nas análises pós-incêndio, principalmente por apresentar potencial combustível pela grande presença de material para combustão. Nas Figuras 6 e 7 verifica-se fotografias aéreas antes do incêndio e o aspecto pós-incêndios nos dados obtidos pela câmera de alta resolução e em campo, confirmando os efeitos do fogo e evidenciando o grau de severidade na área afetada.

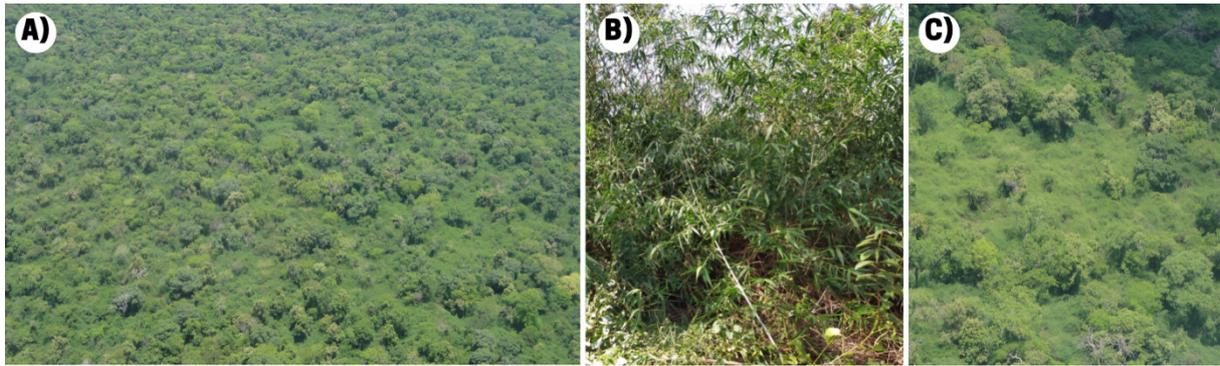


Figura 6 – Tabocal pré-incêndio. A) Foto aérea da distribuição do tabocal entre a mata seca. B) Taboca. C) Maciço de tabocal aglomerado.

Análise termal da Área 1 para os anos de 2019, 2020 e 2021

A Figura 8 e o Quadro 5 apresentam as

informações obtidas com o processamento da banda termal da Área 1 para cada ano do período de estudo.

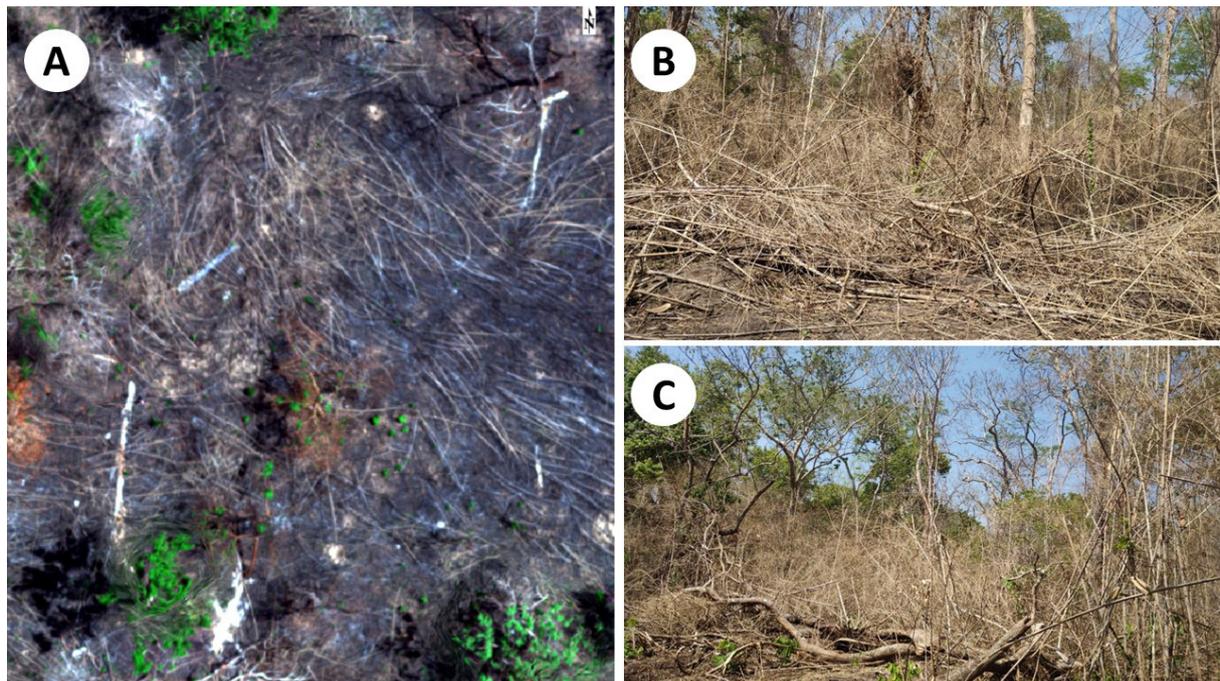


Figura 7 – Tabocal pós-incêndio. A) Porção do ortomosaico macro *habitat* de tabocal. B e C) Maciço de taboca atingido pelo fogo.

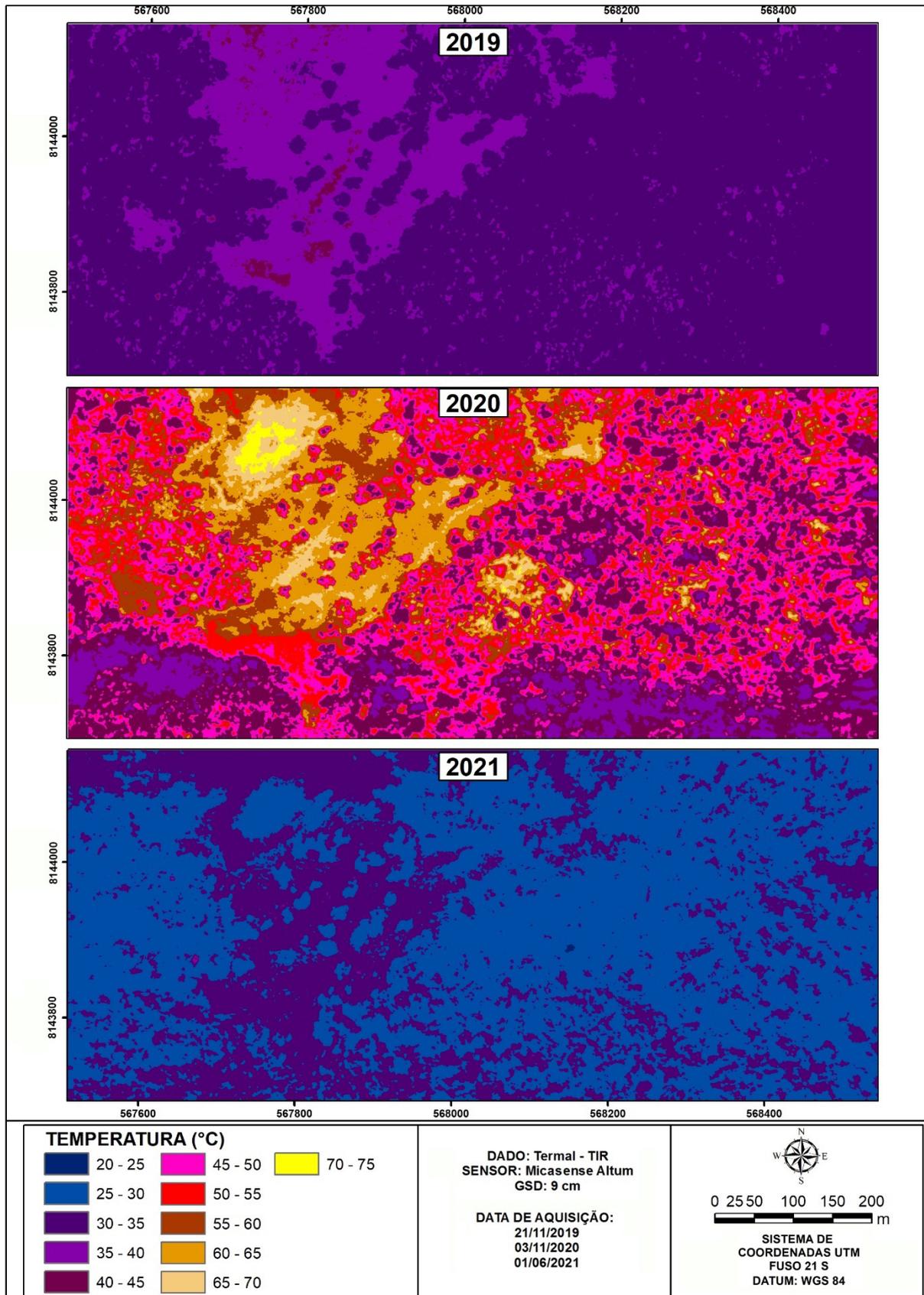


Figura 8 – Variação de temperaturas para a Área 1 – Mata seca com tabocal e campina.

Quadro 5 – Variação de temperatura (°C) para os macro *habitat* existentes na Área 1 – Mata seca com tabocal e campina em 2019, 2020 e 2021.

Mata seca com tabocal e campina					
2019					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	31,3	34,79	33,01	0,92	2,79
Tabocal	32,07	34,21	33,14	0,46	1,39
Campina	36,34	40,27	38,31	1,07	2,79
Acurizal	32,17	35,63	33,69	0,73	2,17
2020					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	39,82	54,72	44,32	3,76	8,48
Tabocal	44,38	68,24	61,19	6,87	11,23
Campina	57,59	66,67	61,44	2,8	4,56
Acurizal	45,22	57,69	52,48	3,84	7,32
2021					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	27,87	30,84	29,55	0,87	2,93
Tabocal	25,02	30,05	27,82	1,20	4,32
Campina	28,65	32,79	31,00	1,12	3,61
Acurizal	27,27	31,12	29,32	1,11	3,79

Analisando os valores médios termais entre os anos de 2019 (pré-incêndio) e 2020 (logo após o incêndio), a temperatura média das classes estudadas variaram de 33,01°C a 38,31°C em 2019, enquanto em 2020 os valores foram de 44,32°C a 61,44°C. A classe que apresentou menores valores médios de temperatura foi a mata seca e os maiores valores foram medidos nas campinas e na área dominada por tabocal. Para a coleta de 2021 foram observados valores médios mais amenos variando de 27,82°C a 31°C.

Para o ano de 2019, pode-se observar valores similares de temperatura média para as classes mata seca, tabocal, campina e acurizal, variando entre 33,01°C e 38,31°C. As máximas de temperaturas para esse ano foram observadas no macro *habitat* de tabocal, atingindo aproximadamente 68,24°C.

Área 2 – Mata seca com acuri

A Figura 9 apresenta os ortomosaicos obtidos para os três períodos analisados na Área 2.

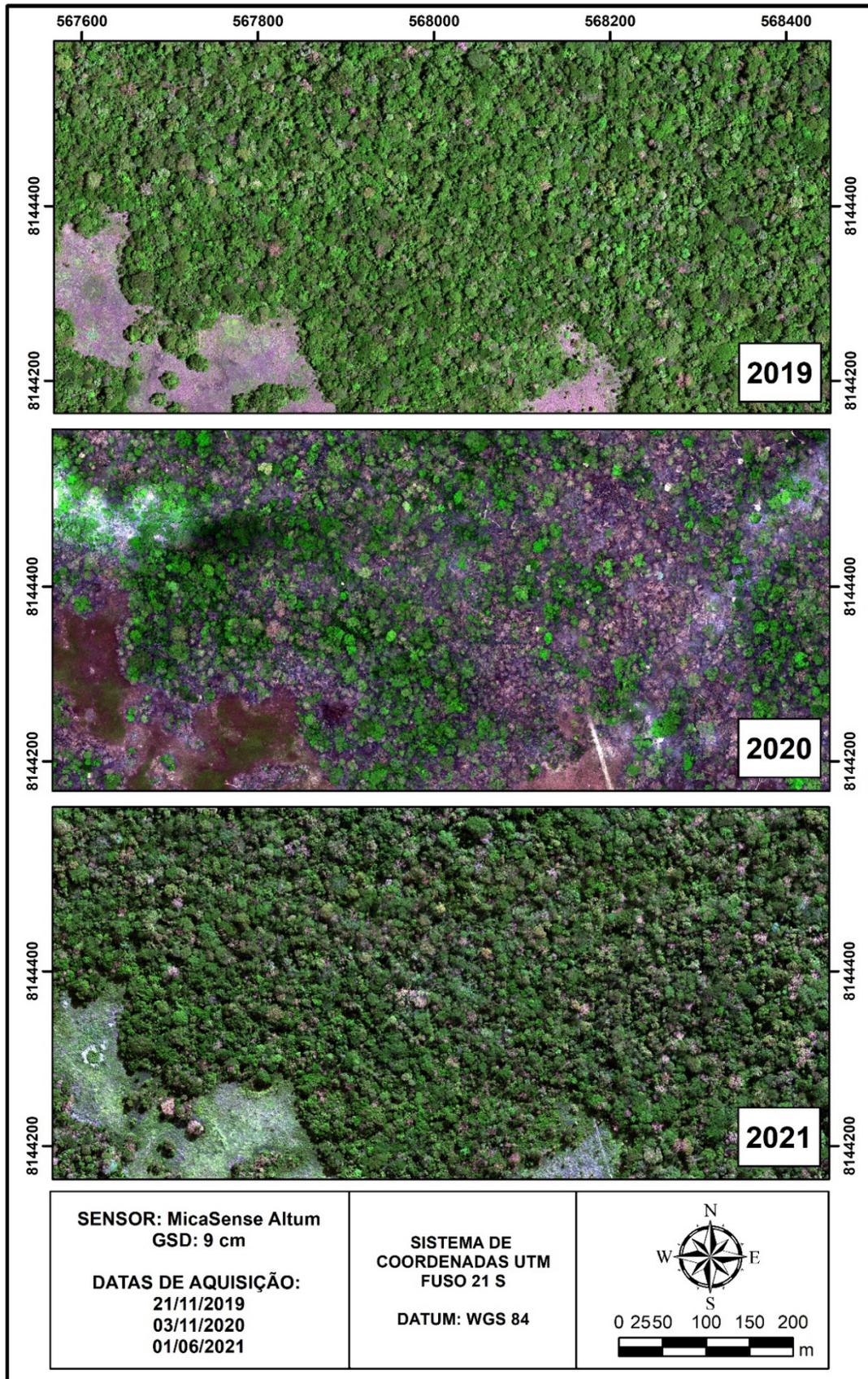


Figura 9 – Ortomosaicos obtidos em 2019, 2020 e 2021 da Área 2 – Mata seca com acuri.

Análise dos graus de severidade da Área 2

Os resultados obtidos com o grau de severidade da Área 2 são identificados na Figura 10, que apresentou 36,34% da área total com a ocorrência

da classe de vegetação e a classe de alta severidade não ultrapassou 35% da área total. Além disso, as classes com distintas severidades somadas totalizaram aproximadamente 63,6% em relação ao total da Área 2.

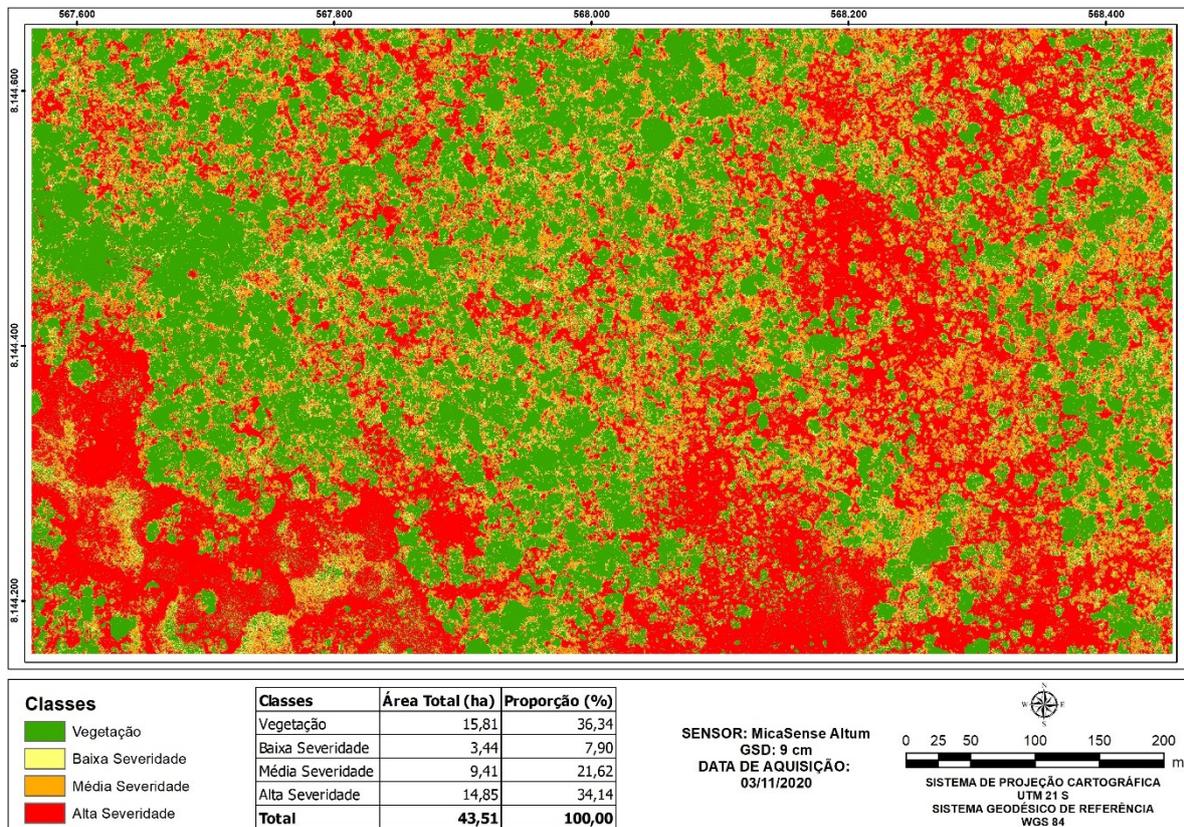


Figura 10 – Classificação dos níveis de severidade de incêndio na Área 2 – Mata seca com acuri.

Análise termal da Área 2 para os anos de 2019, 2020 e 2021

A Figura 11 e o Quadro 6 apresentam as

informações obtidas com o processamento da banda termal da Área 2 para cada ano do período de estudo.

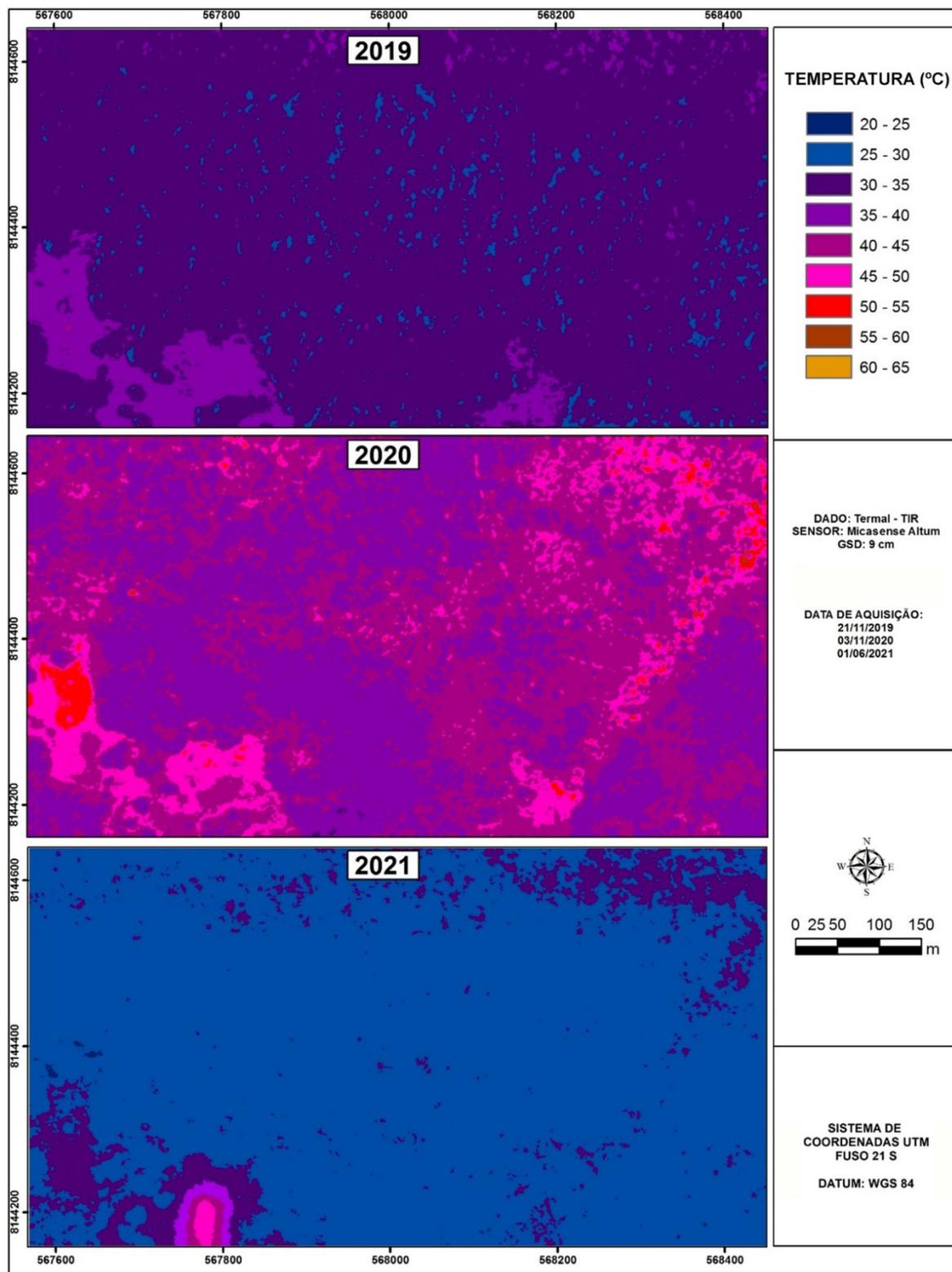


Figura 11 – Mapeamento com a variação de temperaturas para a Área 2 – Mata seca com acuri.

Quadro 6 – Variação de temperatura (°C) para os macro *habitat* existentes na Área 2 – Mata seca com acuri em 2019, 2020 e 2021.

Mata seca com acuri					
2019					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	30,55	34,87	32,42	1,06	3,27
Tabocal	31	33,66	32,11	0,66	2,06
Campina	35,99	38,61	37,01	0,7	1,89
Acurizal	31,45	34,39	32,57	0,74	2,27
2020					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	37,03	41,27	38,98	1,39	3,57
Tabocal	39,30	45,55	42,38	1,92	4,53
Campina	42,85	49,37	46,03	1,89	4,11
Acurizal	36,01	48,3	40,24	3,05	7,58
2021					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	27,83	32,45	29,11	1,25	4,29
Tabocal	25,73	30,08	27,22	1,24	4,56
Campina	29,20	50,60	34,50	6,26	18,13
Acurizal	25,66	30,21	27,79	1,17	4,21

Analisando os valores médios termiais entre os anos de 2019 (pré-incêndio) e 2020 (pós-incêndio), a temperatura média das classes estudadas variaram de 32,11°C a 37,01°C em 2019, enquanto em 2020 a variação foi de 38,98°C a 46,03°C. A classe que apresentou menores valores médios de temperatura foi a mata seca, e os maiores valores médios foram medidos no macro *habitat* campina e na área de tabocal. Para a coleta de 2021 foram observados valores mais amenos, com médias variando de 27,22°C a 34,5°C entre os quatro macro *habitat*.

Para o ano de 2019 (pré-incêndio) pode-se observar valores similares de temperatura para os macro *habitat* de mata seca, acurizal e tabocal, variando entre 32,11°C e 32,57°C. As médias máximas de temperaturas para esse ano foram observadas no macro *habitat* campina, atingindo aproximadamente 37,01°C.

O período analisado pós-incêndio, em 2020, apresentou que a temperatura média da classe mata seca foi de aproximadamente 38,98°C. As maiores temperaturas continuaram pertencendo a classe campina, com 46,03°C em 2020.

Área 3 – Campina

A Figura 12 apresenta os ortomosaicos obtidos para os três períodos analisados na Área 3.

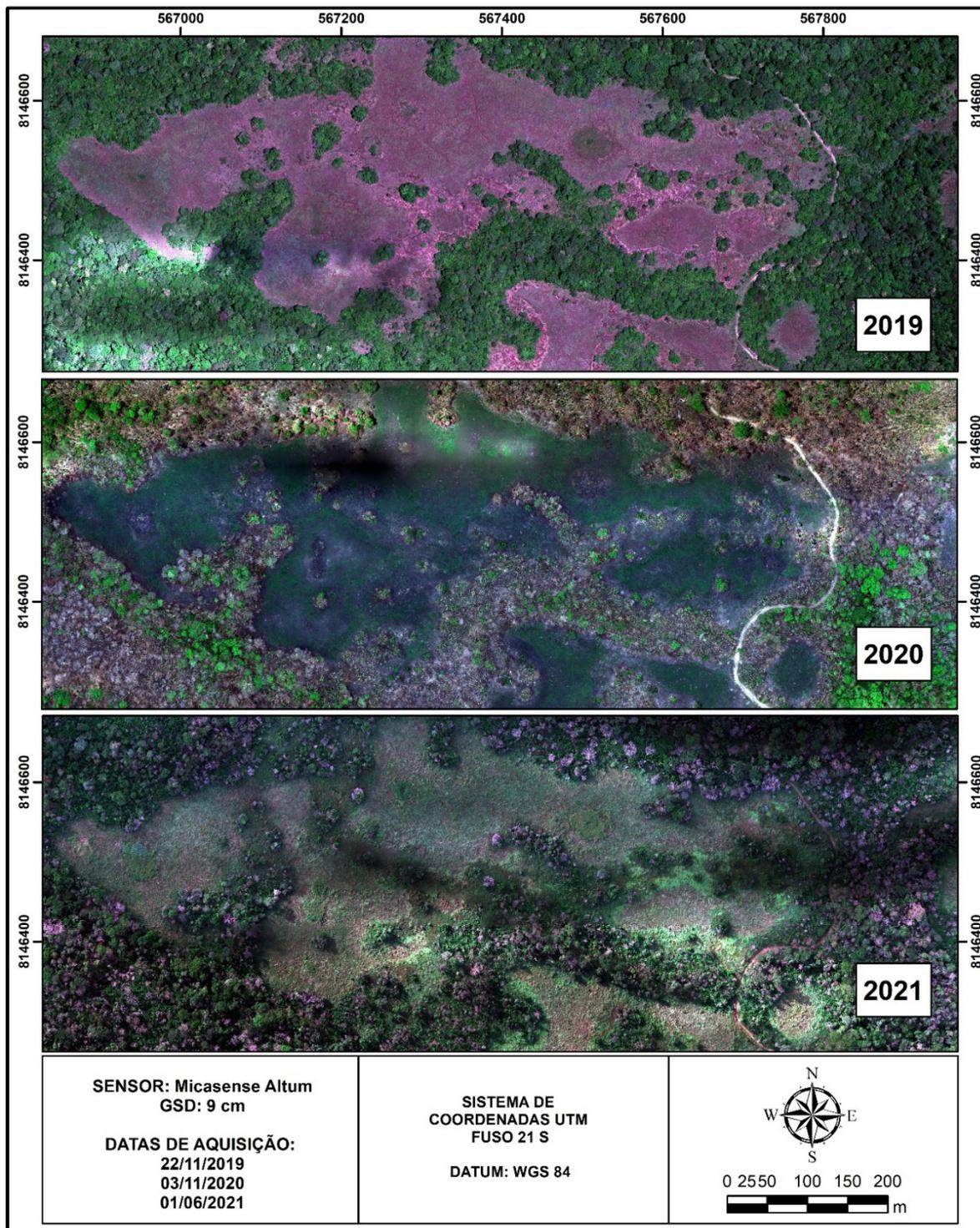


Figura 12 – Ortomosaicos da Área 3 – Campina.

Análise dos graus de severidade da Área 3

O mapeamento do grau de severidade da Área 3 – Campina (Figura 13), apresentou aproximadamente 86% de sua área total afetada pelos graus de severidade dos incêndios. De modo geral, o macro *habitat* campina foi o mais negativamente afetada

pelo fogo, sendo que isso pode ser evidenciado na classificação. A sua composição apresenta majoritariamente um extrato gramíneo-herbáceo nativo (Figura 14), podendo representar um grande estoque de material combustível e consequentemente com alto grau de combustão.

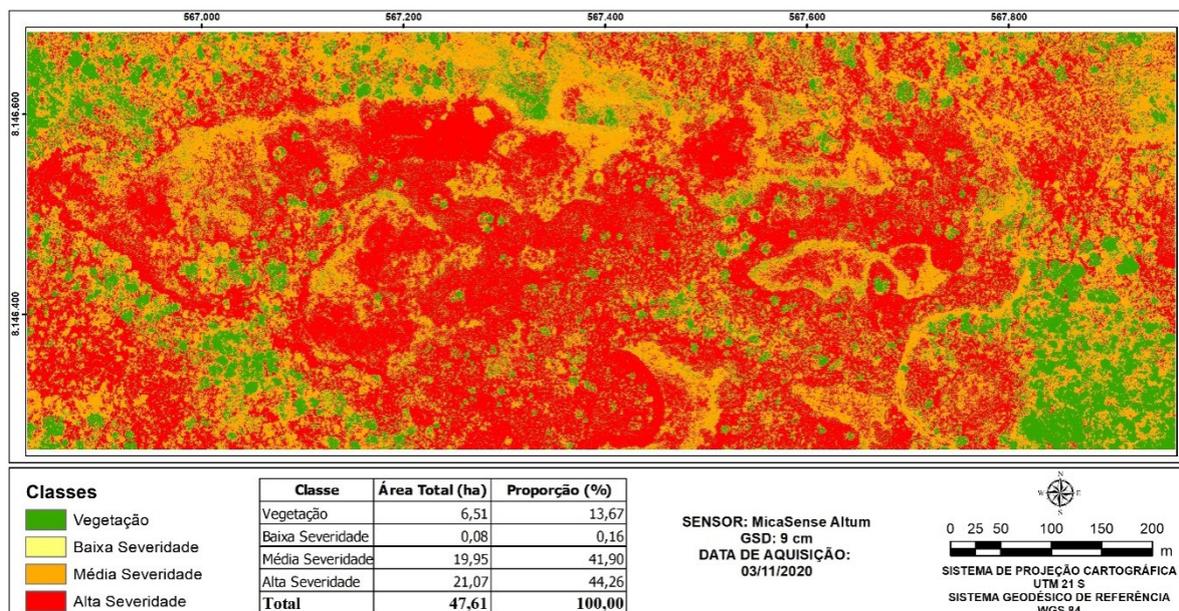


Figura 13 – Classificação dos níveis de severidade de incêndio na Área 3 – Campina.

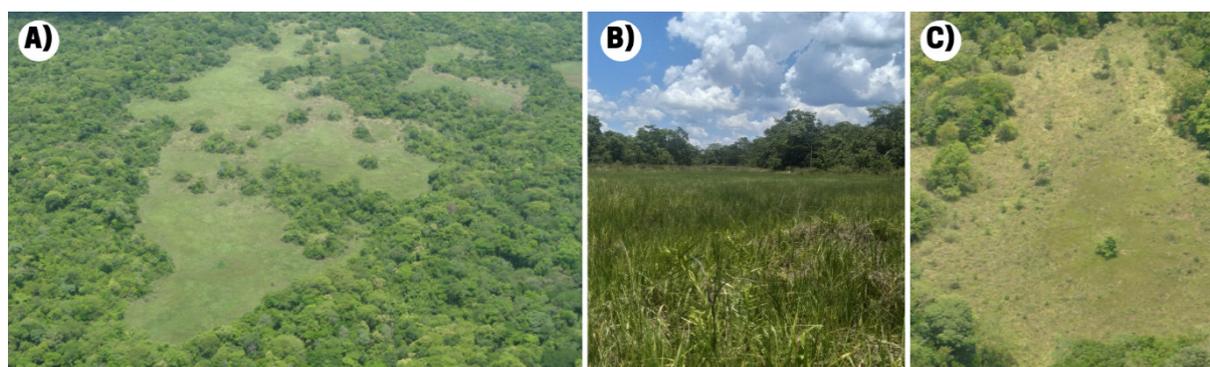


Figura 14 – Foto aérea da campina pré-incêndio. A) Foto aérea da distribuição da campina. B) Composição vegetal. C) Ocorrência de gramínea nativa na campina.

Análise termal da Área 3 para os anos de 2019, 2020 e 2021

A Figura 15 e o Quadro 7 apresentam, respectivamente, o mapeamento da variação de

temperatura e a análise termal da Área 3 para cada ano do período da pesquisa, obtidas após o processamento da banda termal.

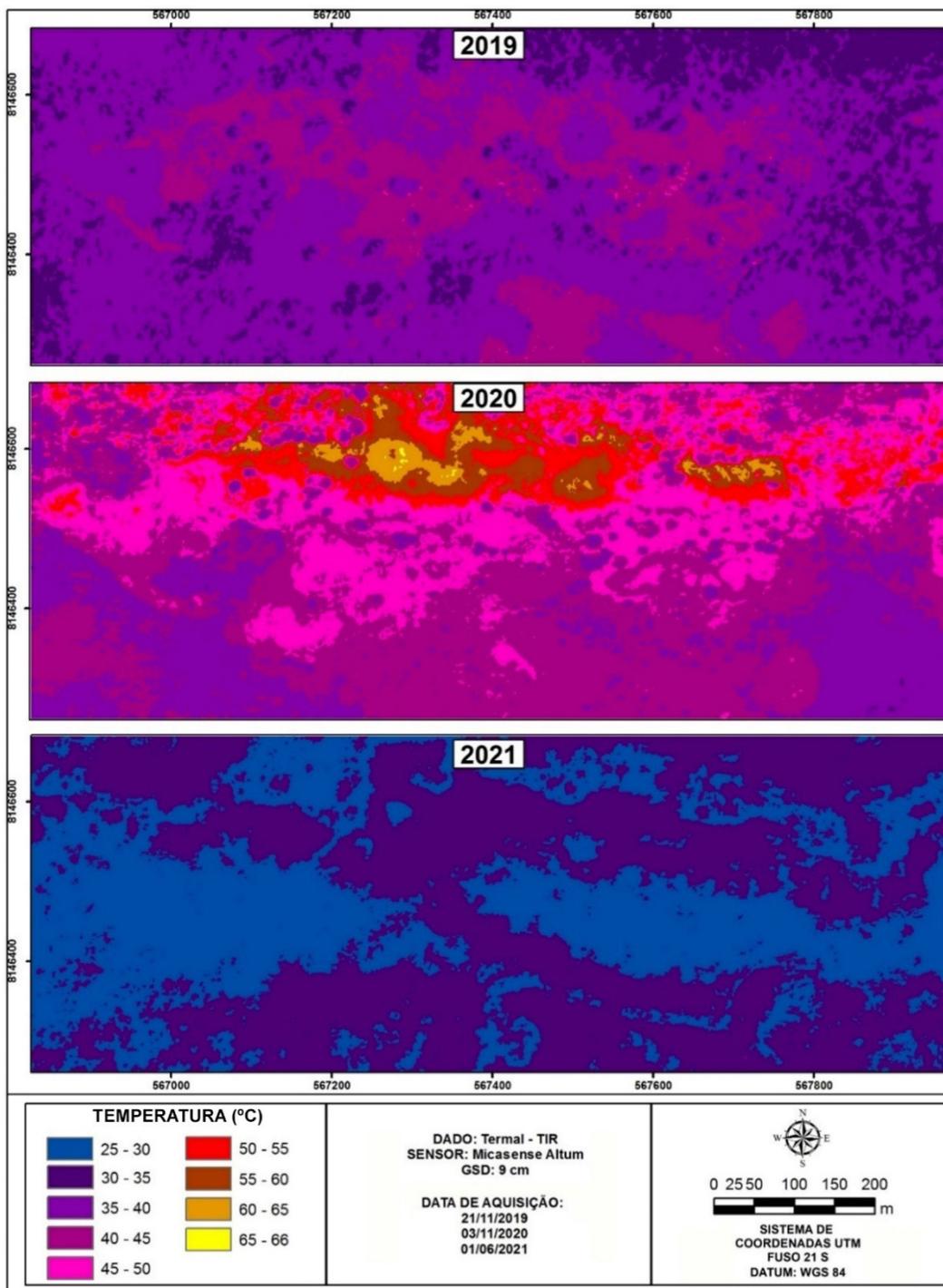


Figura 15 – Mapeamento com a variação de temperaturas para a Área 3 – Campina.

Quadro 7 – Variação de temperatura (°C) para os macro *habitat* da Área 3 – Campina em 2019, 2020 e 2021.

Campina					
2019					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	32,94	38,59	36,32	1,56	4,30
Campina	35,56	41,89	38,52	1,81	4,70
Acurizal	34,81	38,17	36,46	0,89	2,44
2020					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	38,37	44	40,72	1,56	3,83
Campina	43,36	58,49	49,87	4,85	9,73
Acurizal	39,48	54,21	44,52	4,39	9,86
2021					
Macro <i>habitat</i>	T. Min °C	T. Max °C	T. Média °C	Desvio Padrão	CV (%)
Mata seca	29,91	32,78	31,22	0,82	2,62
Campina	27,71	31,60	29,84	1,21	4,07
Acurizal	29,14	33,05	30,55	1,19	3,89

Os valores de temperaturas média da Área 3 variaram de 36,32°C a 38,52°C em 2019 e de 40,72°C a 49,87°C em 2020. O macro *habitat* que apresentou os menores valores de temperatura foi a mata seca, enquanto os maiores valores foram medidos na campina e na área dominada por tabocal. Para a coleta de 2021 foram observados valores mais amenos variando de 29,84°C a 31,22°C.

Para o ano de 2019 (pré-incêndio) pode-se observar valores similares de temperatura média para as classes de mata seca e acurizal, variando entre 36,32°C e 36,46°C. As médias e máximas temperaturas para esse ano foram observadas na campina, atingindo respectivamente 38,52 e 41,89°C.

O período pós-incêndio em 2020 apresentou os menores valores de temperatura média para o macro *habitat* mata seca, com 40,72°C. As médias e máximas temperaturas continuaram pertencendo ao macro *habitat* campina atingindo 49,87 e 58,49°C, respectivamente.

Análise geral – Áreas 1, 2 e 3

A região que apresentou maior nível de dano foi a Área 3 – Campina, considerando informações da classificação onde foi observado que 86,16% da sua área foi categorizada em níveis de severidade média e alta, tendo em vista que grande parte da área imageada encontrava-se recoberta pelo extrato gramíneo-herbáceo nativo. Isso fez com que o comportamento do fogo fosse mais danoso devido ao grande estoque de material combustível e consequentemente com alto grau de combustão.

Os dados termais são uma ferramenta importante para análise da vegetação quando uma área passa por algum processo de remoção da vegetação, como no caso de incêndios. As análises termais demonstraram o quanto a revegetação das áreas queimadas contribuiu positivamente na redução da temperatura da superfície, melhorando o microclima local e, consequentemente, garantindo o equilíbrio ecológico para o estabelecimento de espécies pioneiras que contribuem para a restauração da paisagem natural.

A Área 1 foi a que apresentou as temperaturas mais elevadas dentre as três áreas, atingindo 68,24°C. Destaca-se o macro *habitat* de acurizal e o de tabocal, que aumentou quase 30°C de 2019 para 2020, podendo ser explicado pelas características anatômicas das espécies presentes e a sua ocorrência em aglomerados. Tanto o acurizal quanto o tabocal são encontrados em maciços monodominantes no sub-bosque, sendo mais oportunistas com desenvolvimento mais acelerado em áreas de clareiras. Em especial os tabocais formam um emaranhado com seus galhos/ramos/folhas que favorecem o microclima embaixo do seu dossel, e as análises termais possibilitaram inferir que o incêndio e o poder calorífico do fogo agiram de forma severa sobre essa cobertura. Tal afirmação é corroborada pela análise dos dados termais pós-incêndio, apresentando os valores mais elevados de temperatura juntamente com o macro *habitat* campina.

O período analisado pós-incêndio consistiu em dados coletados no mês de novembro de 2020. As informações termais desse período mostraram que os menores valores de temperatura média foram observados no macro *habitat* mata seca. As maiores temperaturas médias continuaram pertencendo ao macro *habitat* campina, mais acentuadamente na Área 1 – Mata seca com tabocal e campina, onde foi observado um aumento de cerca de 23°C em relação ao ano anterior, atingindo 61,44°C em 2020.

De forma geral, destaca-se que as classes de vegetação levantadas na área apresentaram importância significativa para a ambiência, interferindo diretamente no microclima. Dessa forma, observa-se altas temperaturas no mapeamento de 2020 (pós-incêndio) e uma acentuada redução nas temperaturas no mapeamento de 2021 (regeneração), inclusive apresentando valores médios inferiores ao observado em 2019 antes da queima. Essa condição é explicada pela fenologia das espécies existentes antes ao evento de incêndio, bem como sofreu influência temporal/climatológica referentes a data de aquisição das imagens.

No ano de 2019 as missões de voo foram feitas em novembro, no ano de 2020 em novembro e em 2021 no final de maio e início de junho. Desse modo, as temperaturas da superfície na coleta de 2021 apresentaram valores médios inferiores aos outros dois períodos analisados para todos os macro *habitat*. Tal condição é explicada pela diversidade e fenologia das espécies existentes após o evento de incêndio, bem como a influência temporal/

climatológica relacionada ao período mais úmido do ano envolvendo a realização das missões de voo.

É importante salientar que, devido ao impacto dos incêndios de alta intensidade, ocorreu elevada mortalidade de indivíduos arbóreos de grande porte, representando assim uma perda de diversidade de espécies, principalmente em macro *habitat* de mata seca e de acurizal, sendo que no processo de sucessão vegetal muitas espécies de rápido crescimento, de menor porte e oportunistas se desenvolveram.

Conclusão

Os dados multiespectrais obtidos pela câmera Micasense Altum, agregados a metodologia empregada, mostrou-se adequado para diagnosticar as áreas estudadas ao longo dos períodos analisados e, sobretudo, qualificar e quantificar os graus de severidade do incêndio ocorrido em 2020. Especialmente se considerarmos as dificuldades de acesso, custos financeiros e de tempo para estudos de campo em toda a região afetada.

A Área 3 – Campina, foi a mais afetada pelos incêndios onde 86,16% da sua área foi classificada com níveis de severidade média e alta, seguida da Área 1 – Mata seca com tabocal com campina, possuindo 75,78% com níveis de severidade média e alta e, posteriormente a Área 2 – Mata seca com acuri, que contabilizou 55,76% de área impactada nos graus mais elevados de impacto.

O macro *habitat* de tabocal apresentou alto grau de severidade quanto ao dano pelos incêndios, também apresentando valores elevados de temperatura se comparado a outros macro *habitat*. Os maciços monodominantes de taboca que formam o sub-bosque da mata seca consistem em grande disponibilidade de material combustível, por isso essas áreas foram muito atingidas pela combustão e, conseqüentemente, após a classificação, foram abordadas como áreas que sofreram alta severidade do incêndio.

Os estudos mostram como as distintas áreas mapeadas na RPPN Sesc Pantanal reagiram logo após a incidência de incêndios ocorridos em 2020, sendo que adicionalmente essas informações se mostram muito relevantes para a compreensão da severidade da ação do fogo sobre cada macro *habitat*. As informações são de grande importância para auxiliar nas estratégias de restauração pós-incêndio, bem como para elaboração de planos de conservação específicos para cada macro *habitat*.

O acompanhamento da regeneração é aconselhável e a aplicação das técnicas de processamento empregadas se destacam como importantes ferramentas para avaliar a resposta da vegetação pós-incêndio.

Estudos futuros devem considerar os resultados obtidos neste trabalho e podem fornecer um *insight* para a gestão da reserva, bem como para órgãos ambientais de esfera estadual e federal acerca dos impactos dos incêndios no bioma Pantanal e subsidiar ações voltadas para a conservação de áreas úmidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio logístico e financeiro do projeto “Recuperação de florestas ribeirinhas pantaneiras: beneficiando água, solo, peixes e populações do entorno da RPPN Sesc Pantanal”. O projeto contou com arranjo institucional entre Mulheres em Ação no Pantanal (Mupan), *Wetlands International* Brasil, Centro de Pesquisa do Pantanal (CPP), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Áreas Úmidas (INAU) e Sesc Pantanal, em consonância com a legislação brasileira e orientações do Projeto GEF Terrestre.

Referências

- Junk WJ et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2014; 24: 5-22.
- Sanches LS et al. Seasonal Patterns of Evapotranspiration for a *Vochysiadivergens* Forest in the Brazilian Pantanal. *Wetlands*. 2011; 31:1215-1225.
- Ramsar. Information sheet for a new RAMSAR wetland in the Pantanal. 2003. Disponível em: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/BR1270RISformer_160210.pdf>; Acesso em: 23 de junho de 2020.
- Libonati R, Dacamara C, Peres LF, De Carvalho LAS, Garcia LC. Rescue Brazil's burning pantanal wetlands. *Nature*. 2020; 588: 217-219. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-03464-1>.
- Marengo JA, Cunha AP, Cuartas LA, Deusdará KRL, Broedel E, Seluchi ME, Michelin CM, Baião CFP, Ângulo EC, Almeida EK, Kazmierczak, Mateus NPA, Silva RC, Bender F. Extreme drought in the Brazilian pantanal in 2019–2020: characterization, causes, and impacts. *Front. Water*, 2021; 13.
- Thielen D, Schuchmann KL, Ramoni-Perazzi P, Marquez M, Rojas W, Quintero JI et al. Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. *PLoS One*. 2020; 15: e0227437.
- Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Série Biodiversidade 17. MMA. Brasília: MMA, 2007. 540p.
- Boon MA, Tesfamichael S. Wetland vegetation integrity assessment with low altitude multispectral UAV imagery. *International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics*. Anais... Bonn, Germany: 2017.
- Doughty CL, Cavanaugh KC. Mapping coastal Wetland biomass from high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing*, 2019; 11(5): 540-576.
- Samiappan S et al. Mapping of invasive phragmites (common reed) in Gulf of Mexico coast wetlands using multispectral imagery and small unmanned aerial systems. *International Journal of Remote Sensing*, 2016; 00(00): 1-22.
- Nascente JC. Análise de dados orbitais e suborbitais no diagnóstico e mapeamento de áreas prioritárias para conservação no Corredor da Chapada dos Guimarães, Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais-UFMT, 2020, 136p.
- Valles HEP, Nunes GM, Berlinck CN, Gonçalves LG, Ribeiro GHPDM. Use of remotely piloted aircraft system multispectral data to evaluate the effects of prescribed burnings on three macrohabitats of Pantanal, Brazil. *Remote Sens*. 2023; 15: 2934. <https://doi.org/10.3390/rs15112934>
- Antas PTZ. Plano de manejo da Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal. SESC, Departamento Nacional. Rio de Janeiro/RJ, ed. 2, 2011. 148p.
- Hasenack H, Cordeiro JLP, Hofmann GS. O clima da RPPN SESC-Pantanal (Relatório final do projeto Conhecendo o Clima da RPPN SESC-Pantanal). Porto Alegre: Centro de Ecologia, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 31 p.
- Dubs B. Observations on the differentiation of woodland and wet savanna habitats in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. In: Furley PA, Proctor J, Ratter JA (eds.). *Nature and dynamics of forest-savanna boundaries*. London: Chapman and Hall, 1992. 431-449.
- Ratter JA, Pott A, Cunha CN, Haridasan M. Observations on wood vegetation types in the Pantanal and at Corumbá, Brazil. *Notes Royal Botanical Garden of Edinburgh*, 1988; 45: 503-525.

17. Hofmann GS. Relações entre a temperatura do ar e a estrutura de formações vegetais no norte do Pantanal de Mato Grosso, Instituto de Biociências-Programa de Pós-Graduação em Ecologia-UFRGS, Dissertação de Mestrado, 2008.
18. Lowe DG. Object recognition from local scale-invariant features. Proc. 7th International Conference on Computer Vision (ICCV'99) (Corfu, Greece).1999; 1150-1157. doi:10.1109/ICCV.1999.790410
19. Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant key points. International Journal of Computer Vision. 2004; 60(2): 91-110. doi:10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
20. Szeliski R. Computer Vision: algorithms and Applications. London: Springer, 2010. 812 p.
21. Chuvieco E, Martin MP, Palacios-Orueta A. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. Remote Sensing of Environment, 2002; 112: 2381-2396.
22. Bøgh E, Broge NH, Hasager CB, Jensen NO, Schelde K, Thomsen A. Airborne multi-spectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration and photosynthetic efficiency in agriculture. Remote Sensing of Environment, 2002; 81(2-3): 179-193.
23. Qi J, Chehbouni A, Huete AR, Kerr YH, Sorooshian S. A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, 1994; 48: 119-126.
24. Rouse JW, Haas RH, Schell JA. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, 1974; 1: 309-317.
25. Roujean J-L., Breon, F-M. Estimating PAR Absorbed by Vegetation from Bi-Directional Reflectance Measurements. Remote Sensing of Environment, 1995; 51: 375-384. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00114-3](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)00114-3)
- Du Y, Chang CI, Ren H, Chang CC, Jensen JO, D'Amico FM. New hyperspectral discrimination measure for spectral characterization. Optical Engineering, 2004; 43(8): 1777-1786.

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.
Fluxo Contínuo e Edição Temática:
Ecologia do Fogo e Conservação do Bioma Pantanal
n.4, 2024

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886

