
Appendix A

Portuguese translation of the article originally published in English in the *Journal of Environmental Management*: “Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative Fire Management is urgently needed for both biodiversity and humans”

Letícia Couto Garcia, Judit K. Szabo, Fabio de Oliveira Roque, Alexandre de Matos Martins Pereira, Catia da Nunes da Cunha, Geraldo Alves Damasceno Junior, Ronaldo Gonçalves Morato, Walfrido Moraes Tomas, Renata Libonati, and Danilo Bandini Ribeiro

Appendix A

Este documento é a tradução do artigo original publicado em inglês na revista *Journal of Environmental Management*.

Como citar: *Garcia, L.C., Szabo, J.K., Roque, F.O., Pereira, A.M.M, Cunha, C.N., Damasceno-Júnior, G.A., Morato, R.G., Tomas, W.M., Libonati, R., Ribeiro, D.B. 2021. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative Fire Management is urgently needed for both biodiversity and humans. Journal of Environmental Management*

Quebrando o recorde de incêndios na maior e mais contínua área úmida tropical do mundo: necessidade urgente de Manejo Integrado do Fogo tanto para a biodiversidade como para as pessoas

Letícia Couto Garcia^a, Judit K. Szabo^{b,c}, Fabio de Oliveira Roque^{a,d}, Alexandre de Matos Martins Pereira^e, Catia Nunes da Cunha^{f,g,h}, Geraldo Alves Damasceno-Júnior^a, Ronaldo Gonçalves Moratoⁱ, Walfrido Moraes Tomas^j, Renata Libonati^l, and Danilo Bandini Ribeiro^{a*}

^aInstituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brazil

^bInstituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, BA, Brazil

^cCollege of Engineering, IT and Environment, Charles Darwin University, Darwin, Australia

^dCentre for Tropical Environmental and Sustainability Science and College of Science and Engineering, James Cook University, Cairns, Queensland, Australia.

^eInstituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Campo Grande, MS, Brazil

^fUniversidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil

^gCentro de Pesquisa do Pantanal, Cuiabá, MT, Brazil

^hInstituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas, Cuiabá, MT, Brazil

ⁱInstituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Carnívoros, Atibaia, SP, Brazil

^jEmpresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Pantanal), Corumbá, MS, Brazil

^lDepartamento de Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

*Correspondência para: biodbr@gmail.com

Destaques

- A área afetada pelo fogo aumentou 376% em 2020 quando comparado ao esperado pelo valor médio das últimas duas décadas.
- 43% dessa área afetada em 2020 não havia sido queimada anteriormente desde as últimas duas décadas.
- Contribuíram para este aumento: seca e outros fatores climáticos, combustível seco acumulado na margem dos corpos d'água, limitações dos brigadistas devido à COVID-19 e cortes orçamentários, manejo do fogo escasso e mudanças do uso da terra.
- Incêndios são comumente tratados de forma improvisada. Sugerimos um Manejo Integrado do Fogo sócio-ecologicamente sensíveis.

Resumo

No Pantanal brasileiro, a ocorrência de incêndios tem aumentado, atingindo recordes de mais de 40.000 km² em 2020. A fumaça dos incêndios piorou a situação das comunidades isoladas bem como das urbanas, as quais já estavam sobre uma taxa elevada COVID-19. Revisamos os impactos e causas possíveis do mega incêndio de 2020 e recomendamos melhorias para as políticas públicas e manejo do fogo nessa área úmida. Nós calculamos a quantidade área queimada desde 2003 e descrevemos os padrões de precipitação e nível da água mensurados no Rio Paraguai. Nossas análises revelaram que os incêndios de 2020 forma sem precedentes na história, 43% da área (mais de 17.200 km²) não havia sido queimada previamente nas últimas duas décadas. A extensão da área afetada em 2020 representa 376% de aumento comparada com a média anual da área queimada nas últimas duas décadas e o dobre de 2019. Os fatores potenciais responsáveis por este aumento são: (i) seca severa que diminuiu os níveis de água, (ii) o corredor de fogo localizado na área da zona de inundação do rio, (iii) limitações dos brigadistas, (iv) estratégia de prevenção de incêndios insuficiente e reduções orçamentárias e (v) mudanças do uso da terra recentes. Mudanças climáticas e do uso da terra irão agravar a frequência desses eventos extremos. Para fazer com que o manejo do fogo seja mais eficiente com estratégias custo-efetivas, recomendamos a implementação de um programa de Manejo Integrado do Fogo no Pantanal. As partes interessadas devem utilizar do conhecimento tradicional, local e ecológico e científico existente, a fim de formar uma estratégia coletiva com objetivos claros, atingível e mensuráveis, considerando o contexto sócio-ecológico. Brigadas permanentes, incluindo a participação de indígenas, deveria realizar o manejo do fogo ao longo do ano. Comunidades deveriam cooperar para criar uma rede colaborativa para prevenção de incêndios, a localização e características (incluindo a flamabilidade) das infraestruturas deveriam ser (re)planejadas em ambientes sujeitos do fogo, considerando e manejando as transições das fitofisionomias catalisadas pelo fogo dependendo da severidade dos incêndios. O incêndio de 2020 foi tratado de forma improvisada e a priorização urgente de áreas para investimentos em manejo, proteção e restauração é necessária para prevenir que essa catástrofe ocorra novamente.

Palavras-chave: extremos climáticos, fogo prescrito, fogo tardio, manejo de paisagens, mudanças climáticas, Neotropical

1. Contexto atual

O Pantanal, área úmida tropical maior e mais preservada do mundo, é compartilhada entre o Brasil (140.000 km²), Bolívia (15.000 km²) e Paraguai (5.000 km²). O Pantanal é considerado uma área úmida fundamental na América do Sul Tropical (Junk e Cunha 2012), reconhecida como um patrimônio mundial da humanidade (UNESCO 2020). O Pantanal brasileiro sofreu imensos incêndios em 2020, atingindo 40.000 km², quase um terço do Bioma (Libonati et al. 2020), uma área comparável ao tamanho da Suíça (Fig. 1). Estes incêndios destruíram parte da infraestrutura local incluindo fazendas e pontes. Onças-pintadas (*Panthera onca*), Araras-azuis-grandes (*Anodorhynchus hyacinthinus*), e outros animais icônicos foram diretamente afetados (morreram, sofreram lesões severas ou ficaram sem alimento, Fig.2), juntamente com incontáveis espécies animais residentes e migratórias (Libonati et al. 2020). No entanto, as consequências indiretas e a longo prazo para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos são amplamente desconhecidos.

Além do material particulado, os incêndios liberam monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio que afetam a qualidade do ar e a saúde humana e animal (Nel, 2005). A inalação de fumaça pode agravar problemas

de saúde pré-existentes e aumentar a mortalidade em membros de comunidades tradicionais nesta região remota com acesso limitado a instalações de saúde modernas, bem como em populações urbanas, semelhantes aos cenários relatados na Amazônia (Oliveira et al. 2020). A exposição à fumaça provoca problemas respiratórios, especialmente em idosos (Machado-Silva et al. 2019), agravando as condições de saúde em pessoas infectadas com COVID-19. Desde os primeiros casos de COVID-19, em março de 2020, o número de infectados continua subindo no Pantanal, com 116.959 casos e 3.637 mortes em 24 de março de 2021 (ECOIA 2021).

Mega-incêndios semelhantes têm ocorrido com cada vez mais frequência em todo o mundo. Temporadas passadas de incêndios, como os incêndios florestais de 2019-2020 na Austrália, tiveram grandes impactos para os humanos e também para a vida selvagem (Wintle et al. 2020). Esses cenários de aumento de risco de incêndio, como os recentes grandes incêndios florestais nos EUA, Austrália e Brasil mostram a necessidade de compreender as causas e os efeitos colaterais sobre a biodiversidade e os humanos (Kganyago e Shikwambana 2020).

Com este estudo, pretendemos alertar a sociedade, o governo e gestores ambientais sobre as circunstâncias e

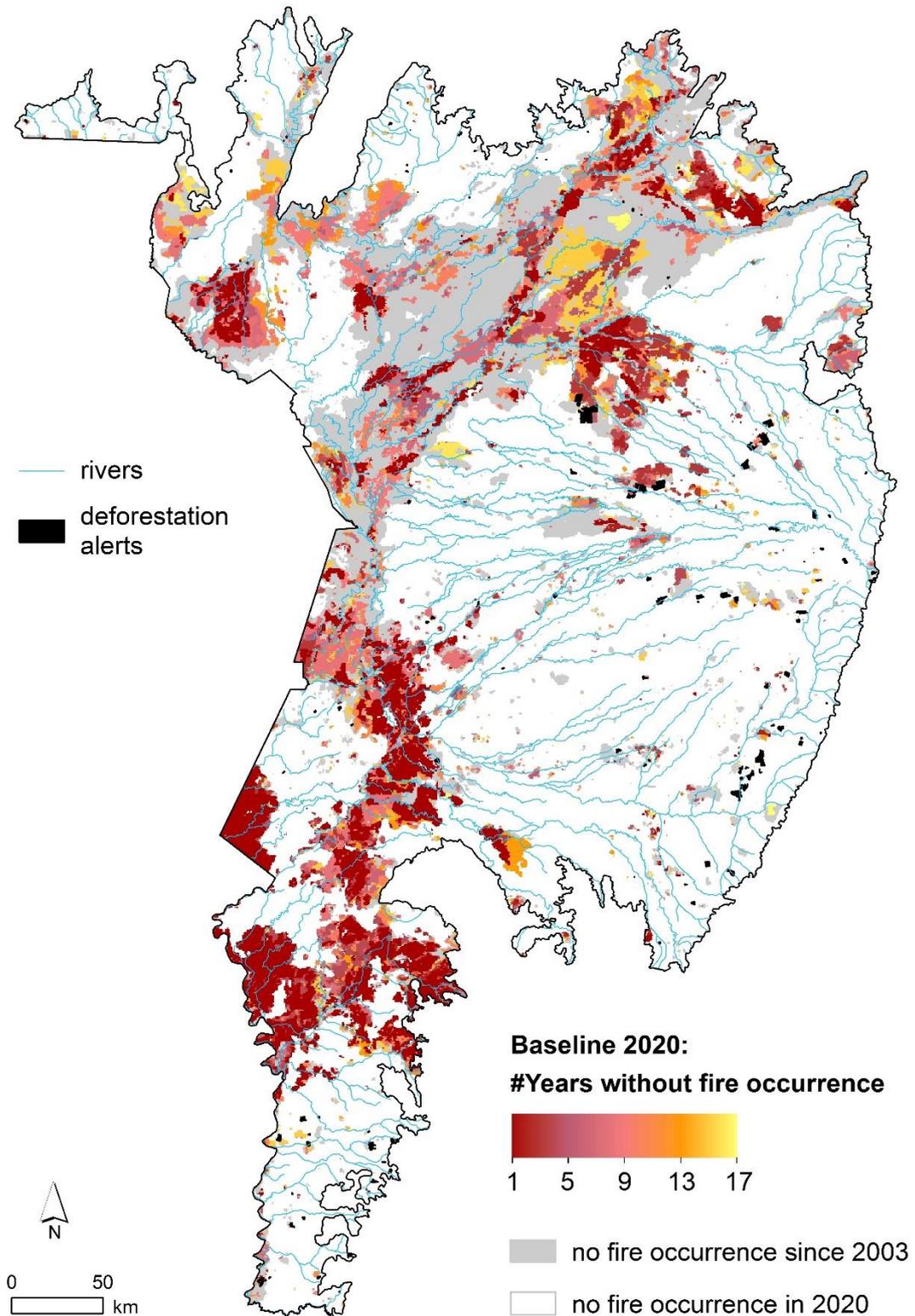


Fig. 1. A extensão das áreas queimadas no Pantanal entre janeiro e dezembro de 2020, derivada dos dados da LASA-UFRJ (ALARMES: Pinto et al. 2020). A cor cinza indica áreas que foram queimadas em 2020, mas não tiveram ocorrência de incêndio entre 2003-2019. A escala de vermelho a amarelo representa o número de anos sem fogo desde 2003. As áreas em preto representam as com perda de vegetação nativa de janeiro a outubro de 2020 com base nas informações do MapBiomias Alerta (2020).



Fig. 2. Os incêndios florestais no Pantanal afetaram inúmeros animais. Indivíduos mortos de (A) caititu (*Tayassu pecari*), (B) jacaré (*Caiman yacare*), (C) anta (*Tapirus terrestris*) e (F) macaco prego (*Sapajus cay*) foram registrados nas áreas queimadas. Um grande número de animais feridos foi resgatado, incluindo a icônica (D) onça-pintada (*Panthera onca*). As patas da onça estão gravemente feridas (E) e o animal recebeu primeiros socorros em um centro de resgate. Créditos das fotos: (A), (B) e (F) Iniciativa Mogu-Matá, (C) Felipe Coutinho, (D) e (E) Daniela Gianni.

consequências dos mega-incêndios de 2020 no Pantanal. Para entender o contexto histórico recente, avaliamos a área total queimada no Pantanal em 2003-2020, detectada por satélite, incluindo contabilizar a área que não havia sido queimada desde então. Por fim, discutimos e propomos ações de manejo adequadas.

2. Os muitos aspectos dos incêndios no Pantanal

Incêndios florestais são uma característica essencial em muitos ecossistemas em todo o planeta, particularmente em savanas secas e áreas úmidas de savana, como o Pantanal (Hardesty et al. 2005). No entanto, estimamos um aumento sem precedentes de 376% nos incêndios florestais, em comparação com as médias anuais das últimas duas décadas (Fig. 3). Em comparação com 2019, a quantidade de área queimada dobrou, e 43% da área queimada em 2020 não havia sido queimada anteriormente no período de estudo (Fig. 1). Os incêndios também afetaram ecossistemas que atuam como refúgios de incêndios durante eventos anteriores. Um padrão semelhante foi detectado na Austrália, onde mega-incêndios recentes alcançaram faixas ribeirinhas, afloramentos rochosos, bordas de floresta tropical e ravinas profundas (Wintle et al. 2020). Além disso, 2020 também experimentou o nível de água mais

baixo, durante o período de inundação, do Rio Paraguai nos últimos 17 anos (Fig. 3). As consequências do aumento da ocorrência de incêndios são mal documentadas no Pantanal. Vários fatores influenciaram a ocorrência de incêndios florestais na região em 2020. O papel da variação climática na atividade do fogo é importante e particularmente notável durante secas extremas, que exacerbam a incidência e severidade do fogo (Bowman et al. 2020). A variação da precipitação no Pantanal é principalmente afetada por mecanismos de teleconexão ligados às oscilações da temperatura da superfície do mar (TSM) dos oceanos Pacífico e Atlântico (Thielen et al. 2020). Em 2020, uma seca extrema e persistente no Pantanal induziu uma estação chuvosa com 60% menos chuva do que o normal (Marengo et al. 2021). Espera-se que esse padrão se torne mais frequente no futuro devido às mudanças climáticas que afetam a dinâmica das cheias inter e intra-anuais (Thielen et al. 2020), o que pode ampliar a suscetibilidade do bioma a incêndios. No Pantanal, os ciclos de inundação plurianuais de aproximadamente 10-15 anos causam eventos de inundação extremos alternando com secas pronunciadas, mudando a paisagem e a dinâmica da vegetação (Silva et al. 2016). A seca de 2020 é considerada a mais prolongada e severa dos últimos 60

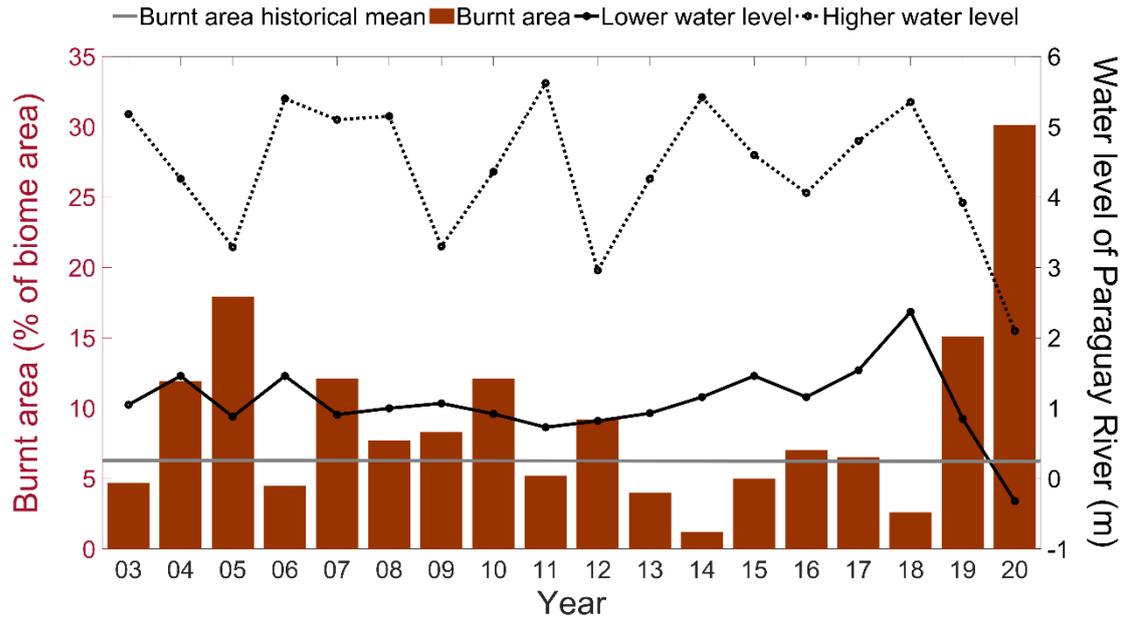


Fig. 3. Área anual do Pantanal (km²) que foi queimada de 2003-2020 (colunas vermelhas), em comparação com a média de 2003-2019 (linha cinza). Os valores foram calculados com base em uma média de valores derivados de satélite em relação à área queimada com base em dados da NASA (MCD64 C6: Giglio et al. 2018), ESA (FIRE-CCI: Lizundia-Loiola et al 2020), INPE (AQM1KM: Libonati et al. 2015) e LASA-UFRJ (ALARMES: Pinto et al. 2020). Nível de água anual mais alto (linha preta pontilhada) e mais baixo (linha preta contínua) (m) do rio Paraguai, com base na bitola localizada em Ladário, a leste da cidade de Corumbá, e o valor de 2020 com base em dados de 1º de janeiro a 10 de dezembro de 2020.

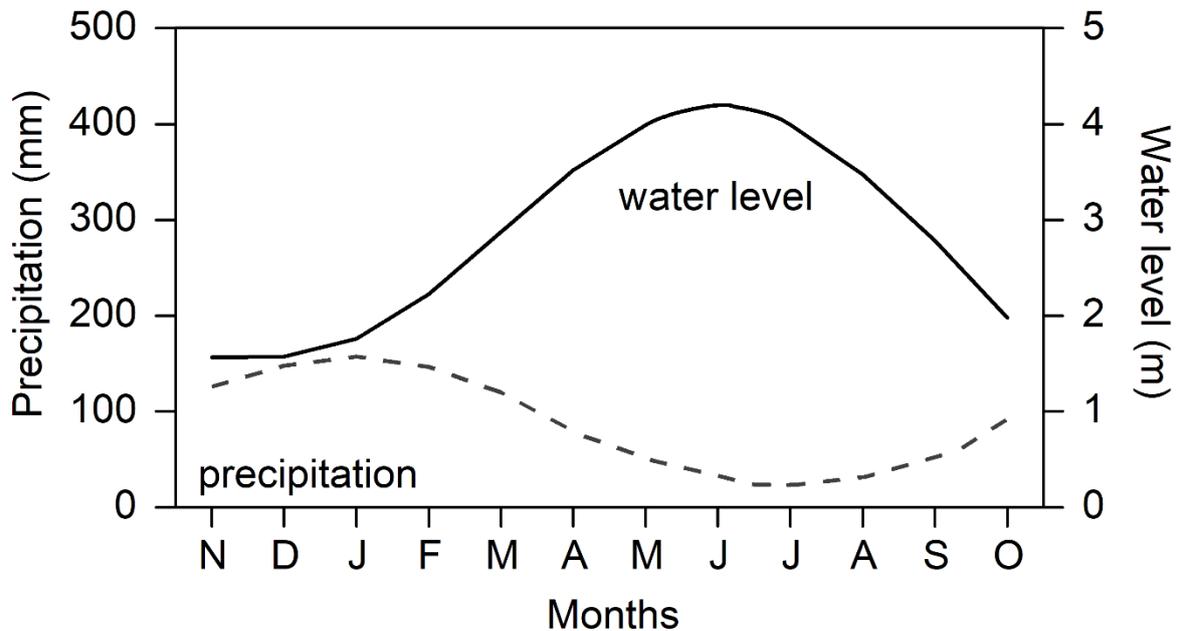


Fig. 4. Precipitação média mensal (linha pontilhada) próximo a Corumbá e nível médio de água (linha contínua, dados da Agência Brasileira de Águas ANA) do rio Paraguai em Ladário (1961-2015) no sul do Pantanal.

anos (SPEI, 2020). Seca prolongada, altas temperaturas e baixa umidade levam a uma diminuição da umidade do solo, afetando a inflamabilidade da vegetação, criando condições ideais para a queima generalizada da biomassa (Libonati et al. 2020). Em 2020, a maioria dos incêndios florestais ocorreu na zona de inundação ao longo do rio Paraguai (Fig. 1), e de lá atingiu áreas mais altas. Carregada pelo rio Paraguai, leva três meses para que a água recebida pela bacia durante o pico de chuvas de janeiro chegue ao sul do Pantanal (Fig. 4). Perto de Corumbá, o pico de enchente ocorre durante a estação seca (maio a junho), e os níveis de água são mais baixos durante a estação chuvosa em dezembro. Sob esse padrão normal de inundação (Fig. 4), as planícies de inundação do rio Paraguai não podem pegar fogo durante a estação seca (Oliveira et al. 2014). Anos excepcionalmente secos criam condições ideais para incêndios, pois o pico do nível da água permanece baixo demais para inundar os campos ao longo do rio. Consequentemente, a grande quantidade de biomassa produzida durante a última inundação permanece disponível como combustível. De acordo com medições de nível de água que ocorrem diariamente nas proximidades de Corumbá desde 1901, a região está passando por ciclos de seca e chuva de vários anos. Comparado com os

4,0 m esperados, o máximo atingiu apenas 2,1 m em 2020, um nível não visto desde 1973 (Fig. 3). Os principais mecanismos de teleconexão climática explicam 80% da variação da precipitação no Pantanal (Thielen et al. 2020). Se as tendências atuais de TSM continuarem, mudanças substanciais são esperadas na dinâmica das cheias inter e intra- anuais que irão alterar radicalmente o funcionamento do ecossistema, com consequências para a biodiversidade (Thielen et al. 2020).

Agravando os efeitos do clima, a queima da vegetação ocorre no Pantanal durante a estação seca (Por, 1995). Essas queimadas estão relacionadas a atividades antrópicas, uma vez que fogos naturais originados de raios são mais comuns durante a transição da estação chuvosa para a seca. O fogo é tradicionalmente usado para melhorar as pastagens para o gado, mas em anos normais as inundações e a vegetação verde impedem a sua propagação. Além disso, as legislações estaduais proíbem as queimadas durante a estação seca (agosto a outubro) no Estado de Mato Grosso do Sul (SEMAG / IBAMA 2014). A intensidade dos incêndios no final da estação seca é significativamente maior, eles liberam mais calor, têm chamas mais altas e maior fator de combustão (Santos et al. 2021). Em 2020, a maioria das queimadas ocorreu nas várzeas de fácil

acesso ao longo do rio Paraguai, embora no Norte várias áreas queimadas estivessem mais longe do rio. Este corredor de incêndio, localizado principalmente na zona de inundação do Rio Paraguai, é claramente visível no mapa da figura 1.

Na verdade, não existe uma causa única para a ignição e propagação do fogo; a situação é complexa, envolvendo múltiplos atores. Por exemplo, os fazendeiros podem queimar pastagens de várzea em áreas que são inacessíveis sob o regime de inundação regular. Se essa queima não for bem planejada, por exemplo, faltam aceiros ao redor da área gerenciada, o fogo pode se espalhar e se expandir rapidamente durante a estação seca. O rio também facilita o acesso a essas áreas e as pessoas iniciam incêndios intencionalmente ou acidentalmente. No entanto, incêndios grandes e fora de controle também ocorrem em áreas de maior altitude. As planícies aluviais também são usadas por comunidades pesqueiras tradicionais, que frequentemente coletam mel de abelhas selvagens usando o fogo para evitar ataques de abelhas. Os povos indígenas do Pantanal dependem dos recursos naturais, incluindo peixes, iscas e plantas selvagens (Bortolotto et al. 2015). No Brasil, o fogo tem sido usado desde 4.000 anos BP para estimular o crescimento de gramíneas, estimular o florescimento e a frutificação de certas

plantas, atrair espécies de caça, coletar mel, abrir áreas para cultivo ou limpar a vegetação ao redor dos assentamentos (Pivello 2011).

Os brigadistas indígenas representam uma grande proporção da força de trabalho no Pantanal, com até dois terços no estado do Mato Grosso do Sul. Essas pessoas durante a pandemia não puderam trabalhar fora das terras indígenas. O surto de COVID-19 também afetou de maneira crucial a gestão do incêndio em 2020, reduzindo ainda mais o número de brigadistas durante toda a temporada, bem como restringindo espacial e temporalmente seus movimentos. Os brigadistas tiveram que acompanhar o distanciamento social durante a pandemia, como ação preventiva para minimizar a transmissão da doença (Ministério da Economia 2020). Além disso, como várias brigadas já atuavam em outras regiões do Brasil, como os biomas Amazônia, Mata Atlântica e Cerrado, também ameaçadas por incêndios florestais (CIMAN 2020), elas estavam sobrecarregadas, sob grande pressão e arriscando suas vidas diariamente.

A situação no Brasil era semelhante a outras partes do mundo, por exemplo, as restrições de bloqueio do COVID-19 também afetaram a África Subsaariana, onde a área queimada e a densidade do fogo foram maiores em 2020 do que em 2019

devido a incêndios originados de atividades agrícolas provavelmente causadas as autoridades responsáveis pela gestão do fogo não estarem operando normalmente (Kganyago e Shikwambana 2021). Por outro lado, o número de incidentes de incêndios florestais diminuiu no Nepal devido às restrições ao movimento de pessoas entre os distritos durante a pandemia (Paudel 2021).

Atualmente, não existe um programa de Manejo Integrado do Fogo (MIF) para cobrir todo o Pantanal. A atual gestão está desarticulada e foi prejudicada por decisões econômicas, como os recentes cortes orçamentários agravando a situação já desafiadora (Libonati et al. 2020). Em 2016, o governo brasileiro diminuiu o orçamento do Ministério do Meio Ambiente em cerca de 56% (um corte de ~ 140 milhões de dólares). Em 2019, 20% (~ 1,33 milhões de dólares) foram cortados do orçamento de 2018 do programa de Inspeção Ambiental e Prevenção e Controle de Incêndios Florestais do ICMBio, e 24% (~ 6,14 milhões de dólares) do orçamento total de Controle e Fiscalização do IBAMA, os dois principais órgãos ambientais do Brasil (Pereira et al. 2019). Em vez de focar principalmente no combate, a alocação adequada de recursos financeiros e outros para a prevenção e gestão de incêndios florestais reduziria o custo, trazendo benefícios

socioeconômicos e ecológicos. Por exemplo, dois dias de horas de voo para combate a incêndios aéreos custam mais do que manter uma brigada de incêndio por seis meses, incluindo equipamentos, veículos e salários. Os gestores de áreas protegidas no Cerrado diminuíram consideravelmente seus custos ao adaptar o MIF (Schmidt et al. 2018), bem como as propriedades rurais privadas da Amazônia e do Cerrado brasileiros (Oliveira et al. 2021). No entanto, a maior parte do investimento público no manejo do fogo dentro das unidades de conservação é atribuído a atividades de supressão em vez de MIF (Oliveira et al. 2021).

A modificação da paisagem durante o Antropoceno pode levar a eventos extremos de incêndio na vegetação com grandes impactos econômicos em todo o mundo (Bowman et al. 2020). Ao contrário da Amazônia (Barlow et al. 2020), o Pantanal carece de estudos sobre os efeitos do desmatamento (Fig. 1 e Guerra et al. (2020b)) ou áreas protegidas (ver mapas em Libonati et al. (2020)) no número e gravidade dos eventos de incêndio. No entanto, mesmo sem uma associação clara com o fogo, a mudança na cobertura do solo é uma ameaça contínua. A fronteira entre planícies e planaltos no Alto Rio Paraguai foi identificada como um novo “arco de desmatamento”, com uma perda de vegetação projetada de até 14.005 km² até

2050 (Guerra et al. 2020b). Comparando os primeiros seis meses de 2019 e 2020, a perda total de vegetação dobrou no Pantanal, conforme detectado pelo MapBiomias Alerta (2020). As áreas mais altas que compõem as bacias dos rios do Pantanal, localizadas nos biomas vizinhos Cerrado e Amazônia também estão ameaçadas (Guerra et al. 2020b). A relação entre planaltos e planícies é principalmente impulsionada por fluxos de água e produção de sedimentos, moderada pela cobertura de vegetação nativa e outros fatores (Ivory et al. 2019). Portanto, a perda de vegetação nativa nos planaltos altera os processos de inundação e sedimentação nas terras baixas e, portanto, a dinâmica de todo o bioma do Pantanal (Guerra et al. 2020a; Guerra et al. 2020b; Louzada et al. 2020). O aumento da sedimentação nos últimos 30 anos mudou a razão seca / úmida de grandes áreas no Pantanal, tornou certas áreas mais suscetíveis ao desmatamento e ao fogo e modificou drasticamente o leque do Taquari (Louzada et al. 2020). A distância das estradas afeta a taxa de conversão de terras nas planícies (Guerra et al. 2020b), e também a probabilidade de ignição antropogênica é maior perto das estradas e depende das práticas agrícolas e do manejo nas proximidades. Além disso, o desmatamento diminui a biomassa lenhosa e aumenta a disponibilidade de combustíveis finos inflamáveis, uma vez

que o conteúdo de água das gramíneas das pastagens é menor em comparação com outros tipos de vegetação, levando à redução do conteúdo de umidade do combustível e, assim, aumentando a inflamabilidade (Pivello 2011).

O desmatamento e o fogo reduzem a quantidade de folhas, diminuindo tanto a transpiração quanto a evapotranspiração, alterando, assim, os ciclos de energia e hidrológicos, levando a um ciclo de retroalimentação positivo fogo-clima (Beringer et al. 2003). O desmatamento no sul da Amazônia e a menor umidade chegando à região do Pantanal desafiará o controle do fogo, criando condições ideais para grandes incêndios na região (Jiménez-Muñoz et al. 2016; Bergier et al. 2018).

3. Da tragédia dos comuns para o manejo participativo e integrado do fogo

Os incêndios naturais vêm ocorrendo no Pantanal há milênios e, junto com os incêndios incidentais e criminosos, eles continuarão a ocorrer. Ao interagir com fatores climáticos e antropogênicos, eles estão causando mudanças ambientais em grande escala. O Pantanal precisa de uma política integrada de incêndios, incluindo consideração ao contexto socioecológico e objetivos específicos quanto à resiliência básica (ou seja, a capacidade de um sistema de manter a mesma composição geral, estrutura e processos de feedback

após os incêndios), resiliência adaptativa (ou seja, alterando ambientes naturais e construídos pelo homem para reduzir o potencial de ocorrência de mega-incêndios) e de resiliência transformativa (por exemplo, exigindo uma mudança em certas condições do ecossistema (como a disponibilidade de combustível) e dos sistemas sociais (ex: instituições) (McWethy et al. 2019). Dada a complexidade da dinâmica do fogo, diferentes estratégias podem ser aplicadas, dependendo do contexto regional. As ações que apoiam as metas de resiliência transformativa incluem a implementação de uma rede colaborativa em várias comunidades, redesenhando a localização, o caráter e a inflamabilidade do ambiente construído em paisagens com alta exposição a incêndios graves, implementando programas de restauração, gerenciando e aceitando esse novo contexto das transições catalisadas pelo fogo, onde as condições climáticas e de uso da terra resultam em nova atividade de fogo (McWethy et al. 2019). Para isso, é fundamental a criação de um fundo de emergência para apoiar a resiliência das comunidades locais.

Quase todo, exceto 5%, do Pantanal brasileiro é propriedade privada e é usado principalmente para a pecuária. Os proprietários locais têm usado o fogo por 300 anos para melhorar as pastagens, mas

os incêndios descontrolados nas pastagens, juntamente com outros fatores relacionados ao pastoreio, têm afetado a biodiversidade (Junk e Nunes 2012, Eaton et al. 2017; Tomas et al. 2019). Recentemente, a braquiária, que é uma espécie de gramínea exótica do gênero *Urochloa* têm sido propagada para formação de pastos convertendo as áreas nativas. Essas gramíneas apresentam alta palatabilidade para o gado, mas consequências desastrosas para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos, simplificando a paisagem, causando perda, fragmentação e degradação de pastagens nativas e outros habitats (Tomas et al. 2019). Em várias partes do Cerrado, os proprietários de terras substituíram toda a vegetação nativa por essas gramíneas africanas altamente produtivas e o fogo é ocasionalmente usado para manejar problemas específicos (Pivello 2011). Esta prática é controversa e em grande parte não documentada no Pantanal e estudos manipulativos-experimentais são necessários para elucidar suas consequências e custo-benefício em comparação com a manutenção da vegetação nativa. Considerando os impactos das espécies de *Urochloa* na biodiversidade, o MIF diminuiria a dependência dos pecuaristas a essa gramínea exótica invasora e também evitaria grandes incêndios a um custo baixo. Esta poderia ser uma opção atraente

para os proprietários de terras em comparação com o investimento no plantio e manutenção de pastagens não nativas. No que diz respeito ao desenvolvimento socioeconômico, a pecuária extensiva tradicional baseada em pastagens nativas representa possibilidades de agregar valor para recebimento de certificação de uso sustentável (Tomas et al. 2019), caso seja baseada em espécies de plantas nativas e essa carne de alta qualidade pode ser vendida nos chamados mercados verdes ou ecológicos, os quais exigem produtos ambientalmente diferenciados e são altamente promissores e valorizados. Este alto valor pode ser mantido pelo MIF, melhorando a palatabilidade das gramíneas nativas e evitando grandes incêndios (Pivello 2011). MIF também pode servir como um indicador de gestão sustentável na escala da propriedade, por exemplo, no contexto do Programa de Fazenda Sustentável (Tomas et al. 2019). Em áreas úmidas, o fogo controlado e o pastejo mantêm a qualidade florística e a uniformidade da vegetação, mas a relação entre a magnitude e a sazonalidade do pastejo e do fogo é desconhecida (Boughton et al. 2016) e requer estudos específicos no Pantanal. A criminalização do uso do fogo, prática comum atualmente no Pantanal, não só falha no controle de grandes incêndios, mas também incentiva os agricultores a substituir as plantas

nativas por gramíneas exóticas mais palatáveis (Tomas et al. 2019). Infelizmente, apesar de alguns avanços, o plano estadual de MIF recentemente aprovado (Decreto No 15.654 de 2021, art. 38, inciso VI) incentiva “substituição de pastagem nativa” como sendo uma “tecnologia alternativa ao uso do fogo” ao invés de incentivar o manejo dessas pastagens nativas através do fogo.

Grandes incêndios não controlados, frequentes e intensos afetam profundamente a maioria dos habitats. Eles também danificam ou destroem gado, máquinas agrícolas, cercas, casas e outras infra-estruturas. São necessárias iniciativas que apoiem o manejo adaptativo para manter uma resiliência sócio-ecossistêmica. Isso inclui a implementação do MIF para diminuir os riscos de incêndios e seus impactos sobre as pessoas, a biodiversidade e a infraestrutura. Brigadas de incêndio permanentes bem equipadas e bem treinadas devem ser colocadas em locais estratégicos em espalhados pela região. Isso é especialmente relevante nos cenários previstos de mudanças climáticas. Temperaturas mais altas e chuvas reduzidas são esperadas até o final do século 21 na Bacia do Alto Paraguai (Marengo et al. 2016), com indesejáveis consequências socioecológicas e econômicas para o Pantanal (Guerreiro et al. 2019).

Os Kadiwéus habitam a maior terra indígena do Pantanal, com 5.330 km², ao longo do rio Paraguai, em uma área dominada por vegetação nativa de savana. Eles usam MIF de forma eficiente e, embora os incêndios continuem a ocorrer na maioria dos anos, os brigadistas indígenas locais (brigada inaugurada em 2009 contratada pelo programa do PrevFogo do IBAMA) têm manejado para reduzir o número e extensão dos incêndios no seu território (Oliveira et al. *in prep*). Brigadas de incêndio, incluindo membros indígenas, devem ser uma parte importante do manejo do fogo no Pantanal. Essas brigadas têm reduzido o número de incêndios não controlados em 50%, ao mesmo tempo que reduzem os custos gerais de controle do fogo na savana brasileira (Schmidt et al. 2018).

O governo brasileiro declarou o uso do fogo ilegal em 1998. Essa política de fogo zero geralmente é uma medida para melhorar os esforços de conservação (Alvarado et al. 2018). Relacionado à longa história colonial (Moura et al. 2019), criminaliza os sistemas tradicionais de manejo do fogo, causando perda de conhecimento ecológico local (Schmidt et al. 2018). De acordo com os nossos dados (Fig 2), essa ação também se mostrou ineficaz no Pantanal. Políticas de supressão de incêndio em savanas e em outras vegetações dependentes do fogo podem

aumentar a carga de combustível (Schmidt et al. 2020). Como as proibições de incêndio podem levar a conflitos (Schmidt et al. 2018), são preferíveis a implementação e a expansão do MIF. Isso inclui considerar o conhecimento ecológico local, minimizar os conflitos entre as comunidades locais e as autoridades governamentais e promover mosaicos de paisagem para estimular a pirodiversidade, evitando incêndios no final da estação seca (Pivello 2011; Schmidt et al. 2018). Metas e estratégias específicas devem ser definidas para gerenciar áreas protegidas ou altamente ameaçadas que ainda estão desprotegidas, como os dos ecossistemas na Lista Vermelha (Nunes e Cunha 2020).

O fogo pode afetar a biota de diferentes maneiras. As plantas e animais locais estão adaptados à dinâmica de incêndio e inundação destas áreas úmidas e podem até depender destes processos (Oliveira et al. 2014). Em certas espécies de plantas, o fogo aumenta a intensidade da floração. No entanto, dependendo da época do ano, indivíduos de espécies sensíveis ao fogo morrem nas queimadas, perdem partes epígeas ou postergam suas atividades reprodutivas (Neves e Damasceno-Junior 2011). Ao destruir plantas em sua fase reprodutiva durante a estação seca, os incêndios podem causar desequilíbrio trófico ao diminuir a disponibilidade de frutos e recursos florais para a fauna. A

combinação de fogo e inundações também afeta a germinação das sementes e o desenvolvimento das mudas (Pettit and Naiman 2007; Ferreira et al. 2021). Embora algumas plantas sejam tolerantes ao fogo no Pantanal (Ferreira et al. 2021), estudos florísticos anteriores relataram várias espécies sensíveis ao fogo (Pott e Pott 1994, 2004) e gerações dessas espécies podem ter sido perdidas sob alta intensidade de fogo (Libonati et al 2020). Portanto, como a severidade do fogo tem impactos imediatos na erosão do solo e na mortalidade da vegetação (McWethy et al. 2019), focos em ações de restauração podem ser necessários, mas sua eficácia deve ser testada. No entanto, o impacto de eventos climáticos extremos, como a seca e grandes incêndios de 2020 são amplamente desconhecidos, e este bioma precisa ser melhor monitorado e compreendido.

4. Preocupações da sociedade

Os incêndios desastrosos de 2020 foram claramente um tópico central do debate público em todo o país, uma vez que suas consequências ambientais de longo prazo e a recuperação são altamente incertas. O Pantanal apareceu nas manchetes de periódicos nacionais e internacionais, bem como nas redes sociais. Conforme os incêndios aumentaram e se espalharam, centenas de pessoas responderam oferecendo-se 24 horas por

dia para controlar o incêndio ou ajudar no resgate de animais selvagens (Libonati et al. 2020). Milhares doaram dinheiro por meio de campanhas organizadas por organizações não governamentais (por exemplo, WWF, IHP, Wetlands International, ECOA, SOS Pantanal e ICAS) e apoiadas por celebridades. Esses eventos de arrecadação de fundos forneceram ajuda imediata para ajudar pessoas e animais durante os incêndios florestais e para contribuir para a restauração. Além de dinheiro, pessoas e organizações também doaram uma quantidade impressionante de alimentos e água durante o combate ao incêndio. Por exemplo, o “Movimento de Chamadas Pantanal” (SOS Pantanal / Luan Santana) arrecadou ~ R\$670.000,00 e recebeu 79 toneladas de alimentos de empresas e R\$234.000,00 de doações individuais.

A resposta local e nacional em relação aos incêndios do bioma foi considerável. Por exemplo, *Noleedi*, coordenado pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, com apoio logístico do PrevFogo do IBAMA e financiado pelo CNPq, focado no efeito do fogo e inundação sobre a biota e tem um relevante papel para dar base científica para a atuação da brigada indígena Kadiwéu, assim como o projeto *Andura* coordenado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, também financiado pelo CNPq, que

mapeou todos os incêndios do bioma, eram os únicos projetos em andamento em 2020 que eram focados nos efeitos do fogo no Pantanal. Durante os desastrosos incêndios de 2020, várias novas redes de pesquisa foram organizadas: 1) Rede *Mogu Matá*, coordenada pela Embrapa Pantanal e ICMBio, estabeleceu um protocolo para avaliar vertebrados mortos pelos incêndios criando um banco de dados dinâmico sobre a mortalidade que pode ser útil para eventos futuros de incêndio; 2) Projeto Rede Pantanal financiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) com objetivo de entender as condições associadas com estes incêndios e desenvolver um sistema de alerta para prevenir os incêndios; 3) Núcleo de Estudos de Fogo em Área Úmida que é um projeto ecológico de longa duração financiado pelo CNPq focado nos estudos de gradientes de fogo e inundação; 4) o projeto “Avaliação do impacto do fogo na biodiversidade do Pantanal” financiado pelo ICMBio; 5) Projetos de restauração anteriormente aprovados pelo GEF-Terrestre/FUNBIO receberam financiamento adicional beneficiando as Unidades de Conservação da APA Baía Negra (projeto coordenado pela ECOA) e do SESC Pantanal (projeto coordenado pela MUPAN). Atualmente, todas essas iniciativas recebem cerca de R\$3.230.000,00 no total. Um comitê de emergência também foi organizado para

planejar ações integradas na prevenção de desastres de incêndio e para treinar e gerenciar brigadas de incêndio em locais-chave do Pantanal. Além disso, o Ministério Público pretende estabelecer um programa chamado “Pantanal em Alerta” para notificar os produtores rurais sobre os incêndios para que adotem medidas preventivas para que não ocorram novos incêndios desta proporção.

5. Conclusões e recomendações finais

A incidência do incêndio de 2020 foi o resultado de uma interação complexa entre fatores meteorológicos / climáticos, paisagem e humanos. Portanto, qualquer estratégia para mitigar o efeito dos incêndios na região deve levar em consideração todos esses fatores e suas características únicas. Extremos climáticos afetam as condições hidrológicas (Oo et al. 2019, 2020) e no Pantanal também afetam os padrões de temperatura e precipitação (Lázaro et al. 2020; Marengo et al. 2021), criando condições ideais para incêndios severos. Não há tempo para o ceticismo a respeito das mudanças climáticas, e as políticas sobre o uso da terra e o manejo do fogo não podem ser adiadas. Construir com base no conhecimento local e científico existente (Schmidt et al. 2018) e empregar brigadas de incêndio permanentes provavelmente será eficaz. As campanhas de educação pública também devem fazer parte do programa de prevenção. O manejo

do fogo deve incluir queimadas controladas na estação chuvosa ou adoção de queima precoce durante os curtos períodos de seca ou imediatamente após a estação chuvosa, quando a vegetação ainda é verde e úmida, pois as chamas geralmente se extinguem à noite, com maior umidade. Esta estratégia tradicional é segura e deve ser adotada para o manejo da vegetação. A queima prescrita e planejada pode efetivamente reduzir as cargas de combustível e diminuir a inflamabilidade, assim, pode prevenir ou suprimir incêndios com eficácia. As queimadas prescritas e os aceiros são particularmente importantes perto das cidades e ao longo das rotas de transporte que, nas zonas úmidas, incluem não apenas estradas e trilhas terrestres, mas também ao longo de cursos d'água. Os trabalhadores da fazenda precisam receber treinamento sobre o uso adequado da queima prescrita em vegetação sensível ao fogo e perto de infraestruturas. A prevenção, bem como todos os outros aspectos ambientais e humanos de eventos catastróficos de incêndio no Pantanal, deve ser apoiada por sistemas de alerta e comunicação adequados e eficientes, capazes de atingir a comunidade da região que se encontra espalhada pelo território.

Reconhecer a importância do conhecimento ecológico local, incluindo o manejo de comunidades indígenas e tradicionais nas áreas remotas e naturais do

Pantanal, pode fornecer respostas políticas mais adequadas e minimizar os impactos negativos dos incêndios. Finalmente, conforme demonstrado pelo cenário catastrófico de incêndios de 2020 no Pantanal, os recursos atualmente alocados para o manejo e prevenção de incêndios são insuficientes para mitigar os danos que levam a incêndios descontrolados e aos altos custos de combate a incêndios. Financiamento adequado deve ser alocado para a prevenção de incêndios, a fim de gerar resultados mais eficazes, sistemáticos e duradouros no controle dos impactos destrutivos dos incêndios. Os recursos devem ser usados para combater o fogo, mas também para o MIF, preenchendo lacunas críticas de conhecimento em relação às mudanças climáticas e eventos extremos, estabelecendo sistemas de alerta eficientes e construindo sobre o conhecimento científico e tradicional, principalmente aumentando a participação dos povos indígenas nas brigadas de incêndio em o Pantanal.

Em conclusão, as temporadas de incêndios têm se tornado cada vez mais longas, mais frequentes e mais graves globalmente, mas outros fatores também contribuíram para a situação atual no Brasil. Chamamos a atenção para os possíveis fatores que levaram a um aumento de 376% na ocorrência de incêndios: secas severas desencadeando o

aumento de combustível seco ao longo dos leitos dos rios que ficam disponíveis para queimar após receber ignição de fontes antropogênicas e de outras fontes, restrições devido à COVID-19 e recentes cortes no orçamento federal em 2020 que afetaram os esforços de combate a incêndios, manejo de fogo insuficiente e mudanças no uso da terra. Apesar de todas as respostas positivas descritas na seção anterior, a continuidade de respostas articuladas, participativas e eficazes é altamente incerta nos próximos anos. Recomendamos que as partes interessadas que atuam no Pantanal devem se basear no conhecimento ecológico local existente, bem como no conhecimento científico. Em vez de combater incêndios de forma improvisada agindo apenas durante crises de incêndios na estação seca, o manejo integrado do fogo deve ser estabelecido, realizado durante todo o ano por brigadas de incêndio permanentes, incluindo brigadistas indígenas para fins de redução mecânica de combustível através de fogo prescrito. Finalmente, dependendo da gravidade dos incêndios, as espécies sensíveis ao fogo podem precisar de ações de restauração ativa. No entanto, a falta de dados que demonstrem o efeito do manejo do fogo nesta área úmida limita a eficiência das políticas públicas no que diz respeito à gestão do fogo e avaliações científicas são claramente necessárias para fundamentar a

tomada de decisão quanto às áreas prioritárias para ações urgentes de investimento financeiro para o manejo, proteção e restauração de espécies sensíveis ao fogo.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao Projeto *Noleedi* (número do do subsídio: 441948 / 2018-9), ao Projeto *Andura* (número do subsídio: 441971 / 2018-0), Núcleo de Estudos de Fogo em Área Úmida (NFAU / PELD) (número do subsídio: 445354 / 2020-8). Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Semagro / Biota-MS, SESC Pantanal, Instituto Homem Pantaneiro (IHP), WWF Brasil e Embrapa Pantanal pelo apoio financeiro à Rede Mogu Matá (número do subsídio: SEG 42.16.00.006. 00.05.001). Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC) pelo apoio financeiro à Rede Pantanal (número do subsídio: FINEP: 01.20.0201.00). O Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF-Terrestre) para apoio financeiro (número da concessão: 055/2020) aos projetos “Recuperação de Florestas Ribeirinhas Pantaneiras: beneficiando água, solo, peixes e populações do entorno da RPPN Sesc Pantanal” (MUPAN) e “Restauração estratégica e participativa no Pantanal: Apa

Baia Negra"(ECO.A). E Luan Santana, SOS Pantanal, assim como todas as empresas e pessoas físicas pelo apoio financeiro ao "Movimento Pantanal Chama". Fabio Bolzan, Filipe L. M. Santos e Júlia A. Rodrigues contribuíram com as figuras e Marcelo Magioli formatou as fotos.

Também agradecemos aos dois revisores anônimos por suas contribuições nas versões anteriores do manuscrito. Por fim, agradecemos aos integrantes das brigadas de incêndio do Pantanal e dedicamos este artigo ao grande e corajoso esforço para controlar os incêndios neste ano difícil.

Referências

- Alvarado, S.T., Freire Silva, T.S., Archibald, S. 2018. Management impacts on fire occurrence: A comparison of fire regimes of African and South American tropical savannas in different protected areas. *Journal of Environmental Management*, 218, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.004>
- Barlow, J., Berenguer, E., Carmenta, R., França, F. 2020. Clarifying Amazonia's burning crisis. *Global Change Biology*, 26, 319–321. <https://doi.org/10.1111/gcb.14872>
- Bergier, I., Assine, M.L., McGlue, M.M., Alho, C.J.R., Silva, A., Guerreiro, R.L., Carvalho, J.C. 2018. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. *Science of the Total Environment*, 619, 1116–1125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163>
- Beringer, J., Beaumont Hutley, L., Tapper, N.J., Coutts, A., Kerley, A., O'Grady, A.P. 2003. Fire impacts on surface heat, moisture and carbon fluxes from a tropical savanna in northern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 12, 333–340. <https://doi.org/10.1071/WF03023>
- Bortolotto, I.M., de Mello Amorozo, M.C., Guarim Neto, G., Oldeland, J., Damasceno-Junior, G.A. 2015. Knowledge and use of wild edible plants in rural communities along Paraguay River, Pantanal, Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11, 46. <https://doi.org/10.1186/s13002-015-0026-2>
- Boughton, E.H., Quintana-Ascencio, P.F., Bohlen, P.J., Fauth, J.E., Jenkins, D.G. 2016. Interactive effects of pasture management intensity, release from grazing and prescribed fire on forty subtropical wetland plant assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 53, 159–170. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12536>
- Bowman, D. M. J. S., Kolden, C. A., Abatzoglou, J. T., Johnston, F. H., van der Werf, G. R., Flannigan, M. 2020. Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 500–515. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3>
- CIMAN - Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional Nacional. 2020. <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/ciman>. Accessed on 11 December
- Eaton, D.P., Keuroghlian, A., Santos, M.C.A., Desbiez, A.L.J., Sada, D.W. 2017. Citizen scientists help unravel the nature of cattle impacts on native mammals and birds visiting fruiting trees in Brazil's southern Pantanal. *Biological Conservation*, 208, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.010>
- ECO.A. Ecologia e Ação. Plataforma de Informações sobre a Covid-19. 2021. Available: <<https://eoa.org.br/plataforma-de-informacoes-sobre-a-covid-19-no-pantanal>> Accessed on 30 March, 2021
- Ferreira, B.H.S., Guerra, A., Oliveira, M.R., Reis, L.K., Aptroot, A., Ribeiro, D.B., Garcia, L.C. 2021. Fire damage on seeds of *Calliandra parviflora* Benth. (Fabaceae), a

- facultative seeder in a Brazilian flooding savanna. *Plant Species Biology*, 1-12. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12335>
- Guerra, A., Oliveira, P.T.S. de, Roque, F. de O., Rosa, I.M.D., Ochoa-Quintero, J.M., Guariento, R.D., Colman, C.B., Dib, V., Maioli, V., Strassburg, B., Garcia, L.C. 2020a. The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses. *Journal of Environmental Management*, 260, 110128. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110128>
- Guerra, A., Roque, F. O., Garcia, L.C., Ochoa-Quintero, J.M., Sanches de Oliveira, P.T., Dettogni Guariento, R., Rosa, I.M.D. 2020b. Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. *Land Use Policy*, 91, 104388. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104388>
- Guerreiro, R.L., Bergier, I., McGlue, M.M., Warren, L.V., de Abreu, U.G.P., Abrahão, J., Assine, M.L. 2019. The soda lakes of Nhecolândia: a conservation opportunity for the Pantanal wetlands. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.11.002>
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L., Justice, C.O., 2018. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing Environment* 217, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
- Hardesty, J., R. Myers, W. Fulks. 2005. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *The George Wright Forum*, 22, 78–87. <https://www.jstor.org/stable/43597968>
- Ivory, S.J., McGlue, M.M., Spera, S., Silva, A. Bergier, I. 2019. Vegetation, rainfall, and pulsing hydrology in the Pantanal, the world’s largest tropical wetland. *Environmental Research Letters*, 14, 124017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4ffe>
- Jiménez-Muñoz, Juan C., Cristian Mattar, Jonathan Barichivich, Andrés Santamaría-Artigas, Ken Takahashi, Yadvinder Malhi, José A. Sobrino, and Gerard Van Der Schrier. 2016. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific reports* 6, no. 1: 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep33130>
- Junk, W.J., Cunha, C.N. 2012. Pasture clearing from invasive woody plants in the Pantanal: a tool for sustainable management or environmental destruction? *Wetlands Ecology and Management*, 20, 111–122. DOI 10.1007/s11273-011-9246-y
- Kganyago, M., Shikwambana, L. 2020. Assessment of the characteristics of recent major wildfires in the USA, Australia and Brazil in 2018–2019 using multi-source satellite products. *Remote Sensing*, 12, 1803. DOI 10.3390/rs12111803
- Kganyago, M., Shikwambana, L. 2021. Did COVID-19 Lockdown Restrictions have an Impact on Biomass Burning Emissions in Sub-Saharan Africa? *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 200470. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.07.0470>
- Lázaro, W. L., Oliveira-Júnior, E.S., Silva, C.J.D., Castrillon, S.K.I., Muniz, C.C. 2020. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e104. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x7619>
- Libonati, R., DaCamara, C.C., Setzer, A.W., Morelli, F., Melchiori, A. E. 2015. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 Mm MODIS imagery. *Remote Sensing*, 7, 15782–15803. <https://doi.org/10.3390/rs71115782>
- Libonati, R., Sander, L.A., Peres, L.F., DaCamara, C.C., Garcia, L.C. 2020. Rescue Brazil’s burning Pantanal wetlands. *Nature*, 588, 217–220. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-03464-1>
- Lizundia-Loiola, J., Otón, G., Ramo, R., Chuvieco, E. 2020. A Spatio-Temporal Active-Fire Clustering Approach for Global Burned Area Mapping at 250 M from MODIS Data.

- Louzada, R.O., Bergier, I., Assine, M.L. 2020. Landscape changes in avulsive river systems: Case study of Taquari River on Brazilian Pantanal wetlands. *Science of the Total Environment*, 723, 138067. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138067>
- Machado-Silva, F., Libonati, R., de Lima, T.F.M., Peixoto, R.B., França, J.R.A., Magalhães, M.D.A.F.M., Santos, F.L.M., Rodrigues, J.A., Dacamara, C.C. 2020 Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. *Ecological Indicators*, 109, 105817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105817>
- MapBiomas Alerta. 2020. <https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/mapa>. Accessed on 19 December, 2020.
- Marengo, J.A., Alves, L.M., Torres, R.R. 2016. Regional climate change scenarios in the Brazilian Pantanal watershed. *Climate Research*, 68, 201-213. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01324>
- Marengo, J.A., Cunha, A.P., Cuartas, L.A., Leal, K.R.D., Broedel, E., Seluchi, M.E., Michelin, C.M., Baião, C.F.P., Ângulo, E.C., Almeida, E.K., Kazmierczak, M.L., Mateus, N.P.A., Silva, R.C., Bender, F. 2021. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Frontiers in Water*, 3, 1–20. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>
- McWethy, D.B., Schoennagel, T., Higuera, P.E., Krawchuk, M., Harvey, B.J., Metcalf, E.C., Schultz, C., Miller, C., Metcalf, A.L., Buma, B., Virapongse, A. 2019. Rethinking resilience to wildfire. *Nature Sustainability*, 2, 797–804. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0353-8>
- Ministério da Economia. 2020. Instrução Normativa no. 19 de 12 de março de 2020. *Diário Oficial da União*. Edição 50, seção 1, pg. 13.
- Moura, L.C., Scariot, A.O., Schmidt, I.B., Beatty, R., Russell-Smith, J. 2019. The legacy of colonial fire management policies on traditional livelihoods and ecological sustainability in savannas: impacts, consequences, new directions. *Journal of Environmental Management*, 232 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.057>
- Nel, A., 2005. Air pollution-related illness: effects of particles. *Science*, 308, 804–806.
- Neves, R.M., Damasceno-Junior, G.A. 2011. Post-fire phenology in a campo sujo vegetation in the Urucum plateau, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 71, 881–888. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000500009>
- Nunes, G.M., Cunha, C. N. 2020. Red List of Ecosystems, Regional Case Studies in Brazil: Pantanal. <https://iucnrle.org/static/media/uploads/references/published-assessments/Manson>.
- Oliveira, A.S., Soares-Filho, B.S., Oliveira, U., Hoff, R., Carvalho-Ribeiro, S.M., Oliveira, A.R., Scheepers, L.C., Vargas, B.A., Rajão, R.G. 2021. Costs and effectiveness of public and private fire management programs in the Brazilian Amazon and Cerrado. *Forest Policy and Economics* 127, 102447. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102447>
- Oliveira, G., Chen, J.M., Stark, S.C., Berenguer, E., Moutinho, P., Artaxo, P., Anderson, L.O., Aragão, L.E.O.C. 2020. Smoke pollution's impacts in Amazonia. *Science*, 369, 634–635. DOI: 10.1126/science.abd5942
- Oliveira, M.R., Ferreira, B.H.S., Souza, E.B., Lopes, A.A., Bolzan, F.P., Roque, F.O, Pott, A, Pereira, A.M.M, Garcia, L.C, Damasceno-Jr, G.A., Ribeiro D.B. (under review). Fire management in indigenous land reduces burned area and climatic influence on wildfires.
- Oliveira, M.T., Damasceno-Junior, G.A., Pott, A., Paranhos Filho, A.C., Rondon Suarez, Y., Parolin, P. 2014. Regeneration of riparian forests of the Brazilian Pantanal under flood and fire influence. *Forest Ecology and Management*, 331, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.011>

- Oo, H.T., Zin, W.W., Kyi, C.C.T. 2019; Assessment of future climate change projections using multiple global climate models. *Civil Engineering Journal*, 5, 2152–2166. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2019-03091401>
- Oo H.T., Zin, W.W., Kyi, C.C.T. 2020. Analysis of streamflow response to changing climate conditions using SWAT model. *Civil Engineering Journal*, 6, 194–209. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2020-03091464>
- Paudel, J. 2021. Short-run environmental effects of COVID-19: Evidence from forest fires. *World Development*, 137, 105120. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105120>
- Pereira, E.J.d.A.L., Silveira Ferreira, P.J., de Santana Ribeiro, L.C., Sabadini Carvalho, T., Pereira, H.B.B. 2019. Policy in Brazil (2016–2019) threaten conservation of the Amazon rainforest. *Environmental Science and Policy*, 100, 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.001>
- Pettit, N.E., Naiman, R.J. 2007. Fire in the riparian zone: characteristics and ecological consequences. *Ecosystems*, 10, 673–687. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9048-5>
- Pinto, M.M., Libonati, R., Trigo, R.M., Trigo, I.F., DaCamara, C.C., 2020. A deep learning approach for mapping and dating burned areas using temporal sequences of satellite images. *ISPRS Journal Photogrammetry Remote Sensing* 160, 260–274. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.12.014>
- Pivello, V.R. 2011. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire ecology*, 7, 24–39. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>
- Por, F. D. 1995. Fire in the Pantanal. *The Pantanal of Mato Grosso (Brazil)*. Springer, Dordrecht, 57–58. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0031-1_19
- Pott A., Pott V.J. 1994. Plantas do Pantanal. Embrapa Pantanal-Livro científico. 320p.
- Pott A., Pott V.J. 2004. Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. *Wetlands Ecology and Management*, 12, 547–552. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-1754-1>
- Santos, A.C., Montenegro, S.R., Ferreira, M.C., Barradas, A.C.S., Schmidt. 2021. Managing fires in a changing world: Fuel and weather determine fire behavior and safety in the neotropical savannas. *Journal of Environmental Management*, 289, 112508. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112508>
- Silva, F.H. B., Arieira, J., Parolin, P., Cunha, C. N., Junk, W.J. 2016. Shrub encroachment influences herbaceous communities in flooded grasslands of a neotropical savanna wetland. *Applied Vegetation Science*, 19, 391–400. <https://doi.org/10.1111/avsc.12230>
- SPEI - Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. 2020. go.nature.com/2jpdubc. Accessed on 19 December, 2020.
- SEMAC/IBAMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. 2014. Resolução Conjunta SEMAC/IBAMA Nº 1 DE 08/08/2014.
- Schmidt, I.B., Moura, L.C., Ferreira, M.C., Eloy, L., Sampaio, A.B., Dias, P.A., Berlinck, C.N. 2018. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. *Journal of Applied Ecology*, 55, 2094–2101. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118>
- Schmidt, I. B., Eloy, L. 2020. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora*, 269, 151613. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151613>
- Thielen, D., Schuchmann, K.-L., Ramoni-Perazzi, P., Marquez, M., Rojas, W., Quintero, J.I., Marques, M.I. 2020. Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. *PLoS ONE*, 15, e0227437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227437>
- Tomas, W.M. et al. 2019. Sustainability agenda for the Pantanal wetland: perspectives on a collaborative Interface for science, policy, and decision-making. *Tropical Conservation Science*, 12, 1940082919872634. <https://doi.org/10.1177/1940082919872634>

UNESCO. 2020. Pantanal conservation area <https://whc.unesco.org/en/list/999/> Accessed on 11 December.

Wintle, B.A., Legge, S., Woinarski, J.C.Z. 2020. After the megafires: what next for Australian wildlife? *Trends in Ecology & Evolution*, 35, 753–757.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.06.009>