

INFLUÊNCIA DO EVENTO DE SECA SEVERA NO BIOMA PANTANAL EM 2020 SOBRE A EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO FINO POR QUEIMA DE BIOMASSA

Elisabete Caria Moraes¹, Guilherme Mataveli¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 -12227-010 – São José dos Campos –SP, Brasil
{elisabete.moraes, guilherme.mataveli}@inpe.br

RESUMO

O evento de seca severa ocorrido no Pantanal em 2020 teve como consequência queimadas recordes. O uso de produtos provenientes de sensores remotos orbitais permite avaliar os impactos desse evento nas emissões pela queima de biomassa. A média anual de emissão de material particulado fino (PM_{2,5}) no período de 2002 a 2022 foi de 117.109 Mg, tendo sua máxima emissão anual um aumento de 242% em 2020, ano extremamente seco com a menor precipitação média anual e a maior retração de área alagada em relação as respectivas médias destes 19 anos. As maiores emissões ocorreram em áreas de floresta e cana-de-açúcar nas regiões Norte e Centro-oeste do bioma.

Palavras-chave — Pantanal, queima de biomassa, emissão de PM_{2,5}, precipitação, área alagada, secas.

ABSTRACT

The severe drought event that occurred in the Pantanal in 2020 resulted in record-breaking fires. The use of products from orbital remote sensing allows us to assess the impacts of this event on emissions from biomass burning. The average annual emission of fine particulate matter (PM_{2.5}) from 2002 to 2022 was 117,109 Mg, with its maximum annual emission increasing by 242% in 2020, an extremely dry year with the lowest average annual precipitation and the largest shrinkage of flooded area in relation to the respective averages of these 19 years. The largest emissions occurred in forest and sugarcane areas in the north and central-west regions of the biome.

Key words - Pantanal, biomass burning, PM_{2.5} emission, precipitation, Wetlands, Drought, Burning.

1. INTRODUÇÃO

O bioma do Pantanal é considerado a maior planície continental de área úmida de água doce e cobre uma área de 1,76% do território brasileiro. O Pantanal sofre influência direta da Floresta Amazônica, Cerrado e Mata Atlântica, o que torna sua flora e fauna muito diversificada, apresentando árvores desde grande e médio porte até vegetações aquáticas típicas de regiões alagadas. Neste bioma habitam praticamente quase todas as espécies de animais existentes no Brasil. Por sua importância para o

meio ambiente o bioma Pantanal é considerado um Patrimônio Nacional pela Constituição Federal de 1988 e em 2000 passou a ser considerado Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO). No entanto, este bioma vem sofrendo transformações e impactos decorrentes das ações humanas.

Ao longo de quase 300 anos de ocupação as comunidades tradicionais (pantaneiros) se mantêm de forma sustentável, mas a substituição da agricultura de subsistência por grandes produções agrícolas mecanizadas e da pecuária extensiva, fatores responsáveis pelo aumento do desmatamento, queimada e, mais recentemente, a canalização de água no Leque do Taquari, representam as principais ameaças enfrentadas pelo bioma. Este uso antropogênico no Pantanal e as alterações climáticas o tornam um *hotspot* de perda da biodiversidade, principalmente pela alta suscetibilidade a seca e queimada, o que gera a necessidade da compreensão dos eventos extremos (cada vez mais frequentes) e de suas consequências para que políticas públicas de conservação sejam estabelecidas.

Estudos mostram que a precipitação neste bioma desempenha um papel significativo no pulso de inundação [1,2], representando aproximadamente 60% da variabilidade total de áreas inundadas [3], e que a queima de biomassa é fortemente suscetível aos índices pluviométricos e, consequentemente, ao pulso de inundação. Ambas as variáveis influenciam diretamente na quantidade de combustível disponível para a queima de biomassa, bem como na intensidade e duração da queimada [4]. Além de alterar a paisagem, as queimadas são fonte de emissão de gases do efeito estufa e aerossóis para a atmosfera, os quais afetam o clima tanto em escala local e regional.

Diante do exposto o objetivo deste estudo é utilizar produtos derivados de sensores orbitais para avaliar a influência da precipitação anual no bioma Pantanal sobre a incidência de queimadas na região por meio da estimativa e espacialização da emissão de material particulado fino (2,5µm) emitido pela queima de biomassa no período de 2002 a 2020 e, com isto, identificar seu percentual de aumento nas emissões de queimada no último evento extremo de seca no Pantanal (2020).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde ao bioma Pantanal, inserido

na região central da América do Sul. Sua área situa-se entre os Estados do Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65%) (Figura 1). Esta região apresenta clima tropical continental com duas estações definidas, sendo o verão chuvoso e o inverno seco. O Pantanal apresenta altitude média de 100 metros, variando de 60 metros na região central a cotas acima de 500 metros em suas extremidades nos limites brasileiros. Portanto, por ser uma planície circundada por planaltos, propicia a ocorrência de um complexo sistema de cheias, no qual 80% do bioma está sujeito a pulsos de inundação inter e intra-anual.

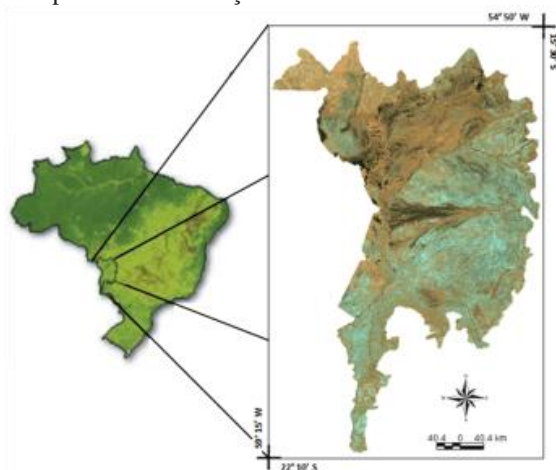


Figura 1 - Localização da área de estudo. A composição colorida foi obtida com dados adquiridos pelo sensor MODIS/Aqua (MOD14) 2012.

A estimativa do $PM_{2.5}$ para o período entre de janeiro de 2002 a dezembro de 2020, com resolução espacial de $0,1^\circ$, tiveram como dados de entrada os focos de calor derivados dos sensores *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (produtos MOD14 e MYD14) no modelo *Brazilian Biomass Burning Emission Model - 3BEM_FRP* [5,6] implementado no pré-processador numérico de emissões de poluentes atmosféricos PREP-CHEM-SRC [5].

As emissões de $PM_{2.5}$ foram estimadas pelo método baseado na Potência Radiativa do Fogo (FRP) [6]. A FRP corresponde à taxa de energia liberada por uma queimada, estando diretamente relacionada ao consumo de combustível e emissão durante a queimada de biomassa. Ao integrar temporalmente as sucessivas estimativas de FRP chega-se à Energia Radiativa do Fogo (FRE), que compreende a energia emitida durante todo o ciclo do fogo de um determinado evento de queimada. Através da FRE se estima a emissão total do $PM_{2.5}$. Maiores detalhes sobre o método aplicado para estimar as emissões estão em [6,7].

A precipitação média anual no bioma do Pantanal para o mesmo período foi obtida através dos dados do produto do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) por possuir boa correlação com dados de estação e reanálise [8] e resolução espacial de 5 km. Os dados referentes à área alagada foram adaptados do artigo de [3].

3. RESULTADOS

A análise dos focos de calor para a área de estudo no período 2002-2020 (Figura 2) mostra que os mesmos apresentam grande variabilidade mensal e anual, sendo que a maior incidência de queimadas ocorre na estação seca (abril a setembro), pois é fortemente dependente do regime de chuva, não somente do ano corrente, mas também do pulso de inundação. Observa-se ainda que 2020 foi o ano de altíssima incidência de focos de calor, com valor de 214% acima da média do período analisado.

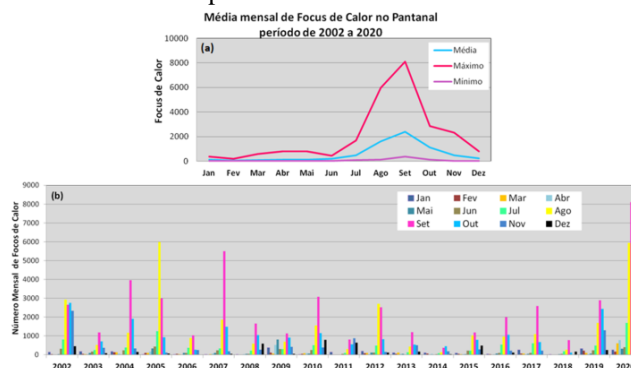


Figura 2 – Incidência de focos de calor no bioma Pantanal durante o período de 2002 a 2020.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial da média da emissão anual de $PM_{2.5}$ pela queima de biomassa destes 19 anos no bioma Pantanal, bem como a espacialização da média precipitação anual neste mesmo período. Já os valores totais anuais destas mesmas variáveis, além das estimativas anuais da área alagada no bioma, são apresentados na Figura 4.

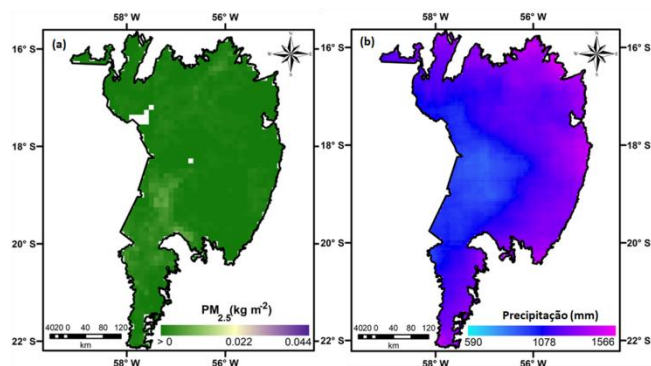


Figura 3 – Distribuição média de (a) $PM_{2.5}$ (kg/m^2) e de (b) precipitação (mm) no Pantanal para o período de 2002 a 2020.

Nota-se por estas figuras que nem sempre há uma relação direta entre as variáveis precipitação e área alagada anual com a emissão anual de $PM_{2.5}$, uma vez que também pode haver a influência do fator antropogênico na queima de biomassa e do pulso de inundação do Pantanal, em que aproximadamente 47% das águas são proveniente do bioma Amazônico e do planalto que o circunda [2]. No entanto, este estudo permite inferir a correlação entre a emissão

anual no $PM_{2.5}$ pelas queimadas e a ocorrência de eventos de seca severa no Pantanal, como o caso identificado em 2020.

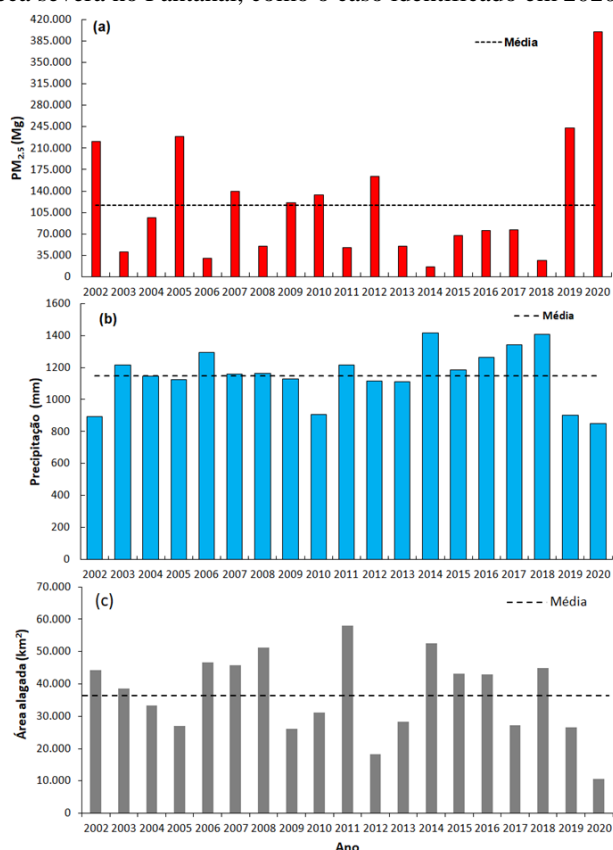


Figura 4 - (a) Emissão anual de $PM_{2.5}$ (kg/m^2); (b) precipitação anual (mm) e (c) área alagada anual (km^2) no bioma Pantanal de 2002 a 2020.

A análise da Figura 4a evidencia que em 2020 houve a maior emissão de $PM_{2.5}$ pela queima de biomassa nestes 19 anos. Esta alta emissão foi agravada pelo fato de o bioma passar por eventos de seca intensos durante dois anos consecutivos (2019 e 2020), apresentando em 2020 a menor precipitação anual no período (Figura 4b), bem como a menor área alagada ($10.668 km^2$) (Figura 4c e Figura 5). Isto representa uma redução de quase 71% em relação à média da área alagada anualmente no bioma, propiciando uma maior disponibilidade de biomassa seca favorável à propagação do fogo.

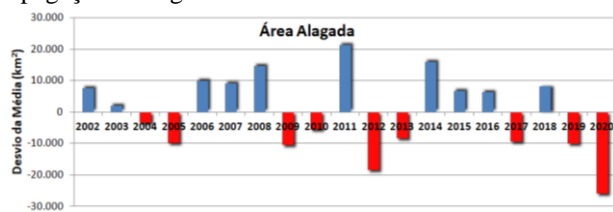


Figura 5 – Desvio do total de área alagada anualmente em relação à média do período de 2002 a 2020 no bioma Pantanal.

A Figura 6 mostra a espacialização do $PM_{2.5}$ emitido pela queima de biomassa (a) em 2020, ano de seca severa no

bioma Pantanal, bem como espacialização de: precipitação anual (b), uso e cobertura da terra (c) definido pelo projeto MapBiomias (<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>), e área alagada (d) para este mesmo ano. Verifica-se que a queima de biomassa atingiu grande parte do Pantanal, sendo que a maioria das áreas que não apresentaram emissão de $PM_{2.5}$ situam-se no leque do rio Taquari e próximo a áreas de relevo mais acentuado.

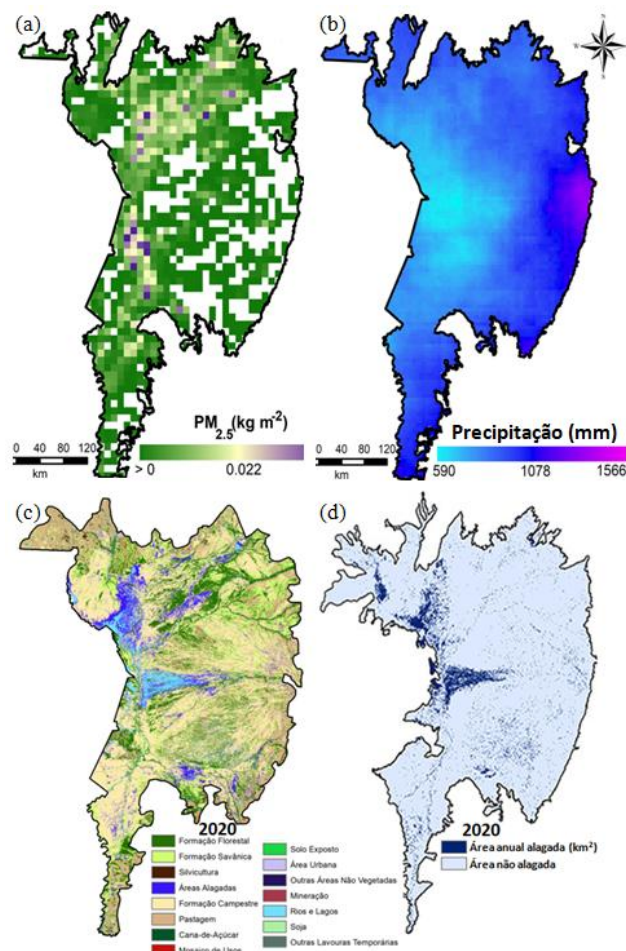


Figura 6 – Distribuição espacial da média anual do (a) $PM_{2.5}$ ($kg m^{-2}$), da (b) precipitação (mm), do (c) uso e cobertura e da (d) área alagada no bioma Pantanal em 2020.

4. DISCUSSÃO

A incidência de focos de calor no bioma Pantanal variou consideravelmente ao longo do período de 2002 a 2020 (Figura 2), assim como as emissões pela queima de biomassa. Ao cruzar as informações espacializadas (Figura 6) foi possível compreender a influência do tipo de uso e cobertura da terra sobre a emissão, uma vez que a vegetação do bioma Pantanal é muito variada, principalmente em função dos pulsos de inundação e dos tipos de solo, e a emissão de $PM_{2.5}$ é dependente do tipo de vegetação. As gramíneas (aqui incluindo a classe pastagem na Figura 6c), vegetação predominante neste bioma, liberam a cada quilô

de biomassa queimada 4 gramas de $PM_{2,5}$, enquanto uma floresta estacional decidual e semidecidual tropical, típica do Pantanal e que ocupam 1,01% do bioma, emitem 9,4 gramas de $PM_{2,5}$ por quilo de biomassa queimada.

As Figuras 3, 4 e 6 apontam a forte relação existente entre precipitação e/ou a área alagada com a emissão de $PM_{2,5}$, tanto na análise das médias anuais do período de 2002 a 2020 quanto na espacialização das variáveis para o ano de 2020. Durante a maior seca do bioma nestes 19 anos, o ano de 2020, apresentou uma redução de 26,1% da precipitação anual e de 70,9% da área alagada em relação às suas respectivas médias anuais do período. Análises realizadas com dados de precipitação do CHIRPS também assinalam 2020 como o ano de seca severa desde 1982, com a média anual de precipitação neste ano 26% menor do que a média anual do período compreendido entre 1982 e 2020 [9].

Através da Figura 4 verifica-se que a seca severa ocorrida em 2020 implicou na alta emissão de $PM_{2,5}$ neste ano (400.468 Mg), que corresponde a um aumento de 2,42 vezes em relação ao valor médio anual de sua emissão no bioma durante o período de 2002 a 2020. Este evento extremo de emissão de $PM_{2,5}$ pela queima de biomassa teve como um dos agentes favoráveis ao aumento de sua emissão o fato de ser o segundo ano consecutivo de forte seca na região, visto que em 2019 foi registrado o terceiro ano de menor precipitação média anual do bioma, com redução de 21,4% relação à média anual destes 19 anos e uma redução de 21,37% da área alagada anual, apresentando também a segunda maior emissão anual de $PM_{2,5}$ (243.514 Mg). Este valor emitido em 2019 equivale a aproximadamente 208% de aumento em relação à média do período estudado. Na espacialização da emissão de $PM_{2,5}$ em 2020 (Figura 6) verificou-se que as células com maiores valores se concentraram em regiões de florestas estacional decidual e cana-de-açúcar situadas ao norte e no centro-oeste do Pantanal, onde também há grandes áreas de gramíneas. Também foi verificado a ocorrência de emissão de $PM_{2,5}$, em menor intensidade, em grande parte do bioma ocupado por gramíneas e formações campestres.

Em 2020 grande parte das regiões do leque do rio Taquari e das regiões mais elevadas próximas a extremidade Leste do Pantanal emitiram muito pouco $PM_{2,5}$ ou não o emitiram. Isto é explicado pela ausência do fogo (ou de sua detecção pelo MODIS), ou pelo tipo predominante de vegetação (pastagem e campestre) que, apesar de ser propensa ao fogo, não queimou por conta dos maiores índices pluviométricos nestas regiões do Pantanal em 2020.

5. CONCLUSÕES

Este estudo analisou o impacto do evento de seca severa ocorrido no Pantanal em 2020 sobre as emissões de $PM_{2,5}$ associadas à queima de biomassa. Tal análise é importante porque o $PM_{2,5}$, ao entrar na circulação atmosférica, afeta a qualidade do ar e, conseqüentemente, a saúde humana, não

somente em escala local, mas também regional visto que a fumaça emitida pelas queimadas do Pantanal em 2020 foi transportada até a cidade de São Paulo. Durante o período de 2002 a 2020 a média anual de $PM_{2,5}$ emitido para a atmosfera foi de 117.109 Mg, tendo no ano de 2020 sua máxima emissão anual com um aumento de 342%. Este ano de seca severa apresentou a menor precipitação média anual e a maior retração de área alagada em relação às respectivas médias do período destes 19 anos (26,1% e 70,9%, respectivamente). Esta alta emissão anual de $PM_{2,5}$ pode ter sido potencializada 2020 ser o segundo ano consecutivo de seca no Pantanal.

8. REFERÊNCIAS

- [1] E. C. Moraes, G. Pereira e E. Arai. Uso dos produtos EVI do sensor MODIS para a estimativa de áreas de alta variabilidade intra e interanual no bioma Pantanal. *Geografia*. V. 34, pp. 757-767, 2009.
- [2] E. C. Moraes, G. Pereira e F. S. Cardozo. Evaluation of reduction of Pantanal wetlands in 2012. *Geografia*. V. 38, pp. 81-93, 2013.
- [3] G. Pereira, R. C. Ramos, L. C. Rocha, N. A. Brunsell, E. D. Merino, G. A. V. Mataveli e F. S. Cardozo. Rainfall patterns and geomorphological controls driving inundation frequency in tropical wetlands: How does the Pantanal flood? *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. V. 45, pp. 669-686, 2021.
- [4] A. S. Mélo, F. Justino, C. F. Lemos, G. Sedyama e G. Ribeiro. Suscetibilidade do ambiente a ocorrência de queimadas sob condições climáticas atuais e de futuro aquecimento global. *Revista Brasileira de Meteorologia*. $PM_{2,5}$. V. 26, pp. 401-418, 2011.
- [5] S. R. Freitas, K. M. Longo, M. F. Alonso, M. Pirre, V. Marecal, G. Grell, R. Stockler, R. F. Mello and M. Sánchez Gácita. PREP-CHEM-SRC – 1.0: a preprocessor of trace gas and aerosol emission fields for regional and global atmospheric chemistry models. *Geoscientific Model Development*, V.4, pp.419–433, 2011
- [6] G. A. M. Mataveli, O. Pereira, H. T. Seixas, G. Pereira, S. C. Stark, L. V. Gatti, L. S. Basso, G. Tejada, H. L. G. Cassol, L. O. Anderson and L. E. O. C. Aragão. Relationship between Biomass Burning Emissions and Deforestation in Amazonia over the Last Two Decades. *Forests*. V.12, pp. 2-19, 2021.
- [7] G. Pereira, K. M. Longo, S. R. Freitas, G.A.V. Mataveli, V.J. Oliveira, P. R. Santos, L. F. Rodrigues and F. S. Cardozo. Improving the South America wildfires smoke estimates: Integration of polar-orbiting and geostationary satellite fire products in the Brazilian biomass burning emission model (3BEM). *Atmospheric Environment*. V. 273, pp. 1-17, 2022.
- [8] H. E. Beck, N. Vergopolan, M. Pan, V. Levizzani, A. J. M. Van Dijk, G. P. Weedon, L. Brocca, F. Pappenberger, G. J. Huffman, E. F. Wood. Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*. V. 21, pp. 6201-6217, 2017.
- [9] G. A. V. Mataveli, G. Pereira, G. Oliveira, H. T. Seixas, F. S. Cardozo, Y. E. Shimabukuro, F. S. Kawakubo and N. A. Brunsell. Pantanal's widespread fire: short- and long-term implications for biodiversity and conservation. *Biodiversity and Conservation*. V. 30, pp. 3299–3303, 2021.