

XIII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia

Análise das condições sinóticas durante os incêndios florestais na Amazônia e seu impacto na cidade de São Paulo em 19 de agosto de 2019

Analysis of synoptic conditions during the forest fires in the Amazon and their impact on the city of São Paulo on August 19, 2019

Douglas Lima de Bem^I , Vagner Anabor^I , Gabriela Dornelles Bittencourt^{II} ,
Damaris Kirsch Pinheiro^I , Franciano Scremin Puhales^I , Hassan Bencherif^{III} ,
Nelson Bègue^{III} , Luiz Angelo Steffene^{IV} 

^IUniversidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil

^{II}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Santa Maria, RS, Brazil

^{III}Université de la Réunion, Reunion Island, France

^{IV}University of Reims Champagne-Ardenne, Reims, France

RESUMO

O trabalho proposto tem como intuito avaliar as condições sinóticas durante o evento de queimadas na região amazônica no mês de agosto de 2019 o qual acabou acarretando no transporte de particulados para a região sudeste, impactando diretamente na cidade de São Paulo no dia 19 transformando o dia em noite. Para a avaliação, foi utilizado os dados de reanálise do ERA5 juntamente aos dados modelo HYSPLIT com objetivo de analisar a trajetória das parcelas de ar durante o evento. A partir das avaliações observou-se a passagem de um sistema frontal o qual teve como função a convergência de umidade e escoamento de ventos sobre a região de São Paulo favorecendo o desenvolvimento de nebulosidade. Além disso, o aumento de particulados ao longo da atmosfera pode ter contribuído como núcleo de condensação, podendo assim favorecer o aumento considerável de nuvens escuras durante o período da tarde no município impactando diretamente na radiação refletida dando um aspecto noturno para a cidade.

Palavras-chave: Incêndios, Sinótica, Transporte

ABSTRACT

The proposed work aims to evaluate the synoptic conditions during the fire event in the Amazon region in August 2019, which ended up causing the transport of particulates to the southeast region, directly impacting the city of São Paulo on the 19th, transforming the day in night. For the evaluation, the ERA5

reanalysis data was used together with the HYSPLIT model data in order to analyze the trajectory of the air parcels during the event. Based on the evaluations, the passage of a frontal system was observed, whose function was the convergence of humidity and wind flow over the region of São Paulo, favoring the development of cloudiness. In addition, the increase in particulates throughout the atmosphere can contribute as condensation nuclei, favoring the considerable increase in dark clouds during the afternoon in the municipality, directly impacting the reflected radiation, giving a nocturnal appearance to the city.

Keywords: Fires, Synoptic, Transport

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, com o crescimento gradativo da população, o impacto das atividades antrópicas no meio ambiente tende a modificar até mesmo a composição química da atmosfera Vitousek et al. (1997). Assim, conforme indicado por Forest et al. (2002), embora seja de extrema importância, os aerossóis e sua concentração ao longo da camada ainda são considerados uma incerteza na abordagem das mudanças climáticas e do seu desenvolvimento. Isso se torna alarmante, pelo fato de que geralmente os aerossóis desempenham um papel fundamental na cadeia de formação e desenvolvimento da microfísica das nuvens, sendo que alterações na quantidade e composição dos aerossóis tendem a gerar uma alteração nas propriedades ópticas das nuvens e assim, modificando padrões de precipitação RamanathanV et al. (2001). As estimativas têm indicado um aumento de 5% na nebulosidade e de 6% no albedo do campo de nuvens associado às atividades humanas correspondente ao aumento da concentração de aerossóis na atmosfera, gerando assim um aumento na refletividade das nuvens associado a um maior número de gotas. Isto está de acordo com as observações, que sugerem que a profundidade óptica do aerossol (AOD) da camada estratosférica de aerossóis entre 20 e 30 km tem aumentado de 4% a 10% ao ano desde 2000 como indicado por (Trick et al., 2013).

No hemisfério sul, regiões da América do Sul e do sul da África são consideradas importantes fontes de aerossóis carbonáceos, produzidos a partir da queima de biomassa. Essa queima de biomassa tende a ocorrer nos meses de inverno, como observa Bencherif et al. (2020), ocorrendo na região conhecida como “Arco do Desmatamento”, o que muitas vezes acontece devido à expansão das áreas de produção agrícola e pecuária no Brasil. É sabido a partir de estudos que as concentrações de aerossóis provenientes destes incêndios são libertadas na

troposfera livre por convecção e são posteriormente transportadas para a região do Oceano Índico por ventos de oeste. Porém, os estudos sobre o assunto são mínimos e há necessidade de mais investigações, juntamente com a observação do impacto da injeção desses aerossóis na atmosfera durante eventos de queimadas na América do Sul.

Um exemplo dos impactos e propagação desses aerossóis foi o evento ocorrido em 2019 durante o período de seca e a incidência de eventos de incêndio na região amazônica, que favoreceu o transporte de plumas de fumaça por 2.700 quilômetros atingindo a cidade de São Paulo, transformando o dia em noite devido à alta concentração de partículas na atmosfera. O aumento desses eventos de queima de biomassa levantam um alerta sobre a importância de estudar os motivos e a propagação das partículas geradas em toda a América do Sul.

Com base nisso, o presente estudo tem como objetivo avaliar as condições sinóticas durante o evento de incêndio ocorrido em agosto de 2019, resultando no evento do dia 19 na cidade de São Paulo. Análises de imagens de satélite serão apresentadas juntamente com campos sinóticos derivados de dados de reanálise, antes e durante o evento, com adição de análise de trajetória de partículas ao longo da região de interesse.

2 METODOLOGIA

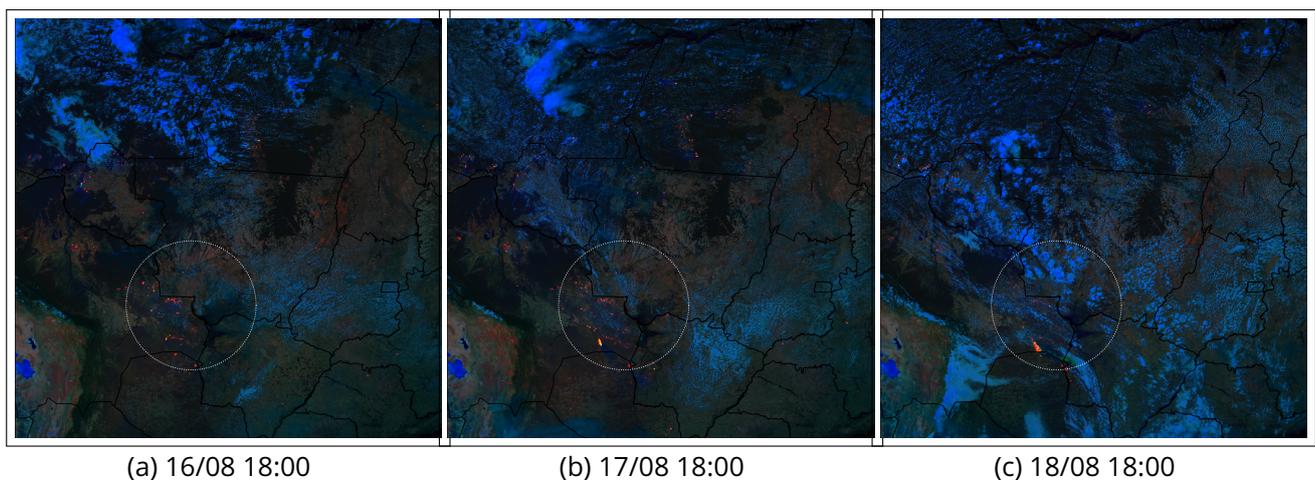
A região sudeste, a qual situa a cidade de São Paulo, é influenciada diretamente por diversos sistemas meteorológicos como descrito por Reboita et al. (2010) onde a mesma descobre que os eventos de instabilidade e precipitação tendem a ocorrer devido ao avanço de sistemas frontais e ciclones subtropicais e extratropicais sobre a região, juntamente com o impacto direto da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) a qual tem sua ocorrência predominante no período chuvoso que ocorre durante os meses de outubro até março Quadro et al. (2012). Durante a semana do dia 19 de agosto de 2019, a região experimentava a passagem de um sistema frontal, o que pode ter favorecido no desenvolvimento de nebulosidade em toda a região, indicando aumento no transporte de umidade proveniente da Amazônia. Atrelado a isso, houve conhecimento da ocorrência de incêndios muito densos e extensos nos dias anteriores nas regiões do estado de Rondônia e Bolívia, favorecendo o aumento

de material particulado na atmosfera.

2.1 COLETA DE DADOS

Os dados para avaliação dos campos sinóticos são derivados da reanálise climática *ERA5 C3S* (2017) com resolução horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, intervalos horários e 37 níveis isobáricos. Esta reanálise é produzida pelo ECMWF, oferecendo dados a partir de 1940 e mantém sua extensão temporal com atualizações diárias. Além disso, usou-se os dados do modelo "The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPLIT)" com o intuito de acompanhar a trajetória das parcelas de ar que estavam direcionadas para a cidade de São Paulo (Draxler and Rolph, 2010).

Figura 1 – Imagem do satélite GOES 16 Flannigan and Haar (1986) da combinação de três canais de cores diferentes (Canais 07,06,02) para identificação de focos de incêndio adaptados de Seaman et al. (2023) às 18:00 UTC para os dias anteriores ao evento do dia 19. região circular demarcada em branco indica os focos de incêndio mais intensos



Fonte: Autores(as)

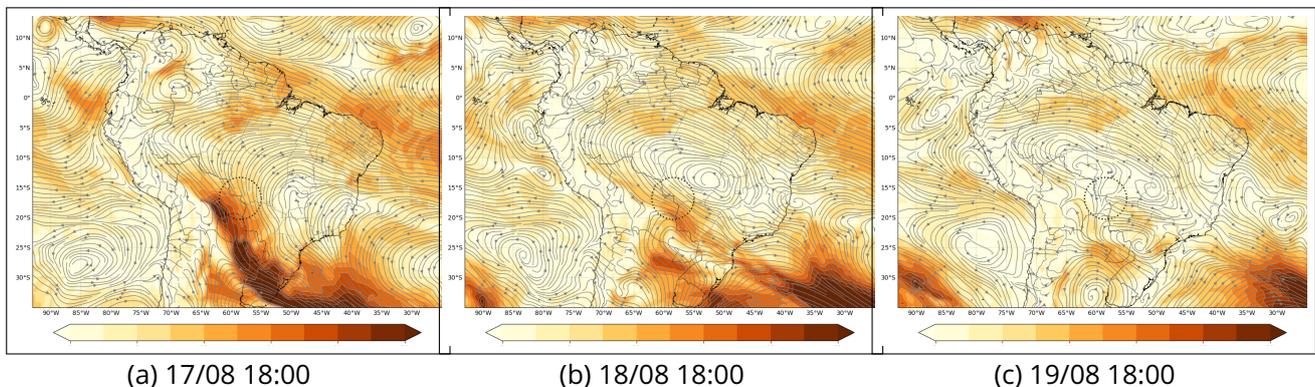
3 ANÁLISE DE DADOS

3.1 ANÁLISE SINÓTICA

Conforme as imagens de satélite discutidas anteriormente revelaram a passagem de um sistema frontal sobre as regiões sul e sudeste, progredindo entre os dias 17 e 19 de agosto sobre a área. Conforme indicado por Lemes et al. (2020) e analisado nos campos de velocidade do vento em 850 hPa, durante o dia 17 pode-se ver o escoamento oriundo de norte com origem na região amazônica em direção à

região sul, onde têm-se a indicação do Jato de Baixos Níveis (JBN) durante o dia auxiliando no transporte de particulados ao longo do sul do Brasil. Com o avanço do sistema frontal e conseqüente deslocamento do vento, esse fluxo que antes se dirigia para o sul deslocou-se no final do dia 18 e início do dia 19 para a região sudeste, impactando diretamente no transporte dos particulados destacados e observados. Paralelamente a este evento, a Alta Pressão do Atlântico Sul favoreceu este JBN devido à sua rotação anticiclônica intensificando os ventos. Outro aspecto importante a destacar é um movimento anticiclônico sobre a região centro-oeste, que pode ter sustentado o transporte de particulados em níveis médios para latitudes mais altas, como pode ser observado na Figura 2. Lemes et al. (2020) apresentou, com base em simulações utilizando BRAMS Cavalcanti et al. (2020), a trajetória do material particulado em direção à região que abrange a região Sul e Argentina durante os dias 17 e 18 de agosto, corroborando com as figuras apresentadas a seguir.

Figura 2 – Campo de velocidade do vento em 850hPa e aerodinâmicas para os dias anteriores e durante o evento em 19 de agosto de 2019 às 18:00 UTC. A região circular demarcada em preto é semelhante à região da figura 1 indicando os focos de incêndio mais intensos

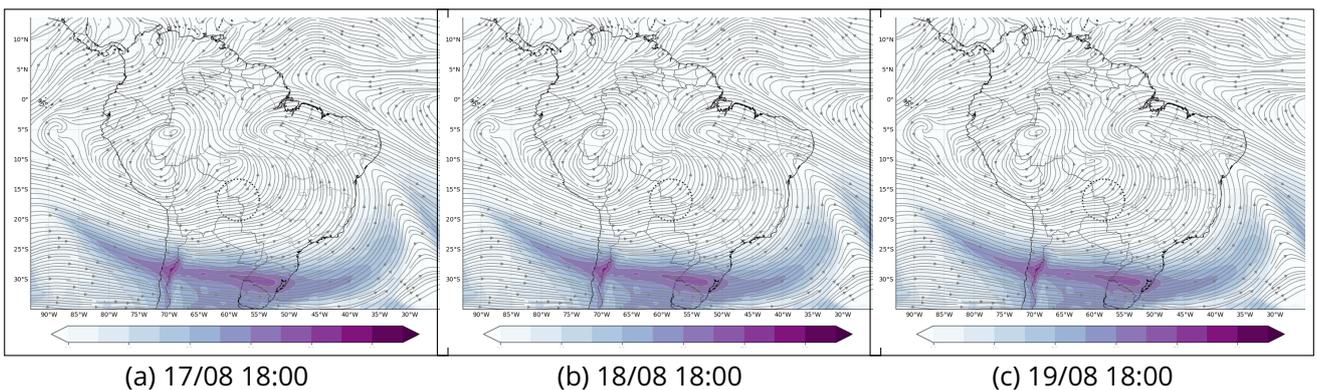


Fonte: Autores(as)

Ao observar o escoamento do vento em 200 hPa na Figura 3, nota-se a influência do jato nos dias que antecedem o evento, com seu núcleo centrado no Rio Grande do Sul. Durante o mês de agosto, no período de inverno, o jato atinge sua máxima intensidade e atuação sobre a América do Sul, com valores médios chegando a 45 m/s. A sua localização oscila entre as faixas latitudinais de 25S e 30S, apresentando uma configuração zonal como a vista no dia 17 sobre a região sul do país. A literatura indica que tal configuração favorece na entrada do jato a existência de um escoamento de norte do jato troposférico e de escoamento oposto (Sul) em

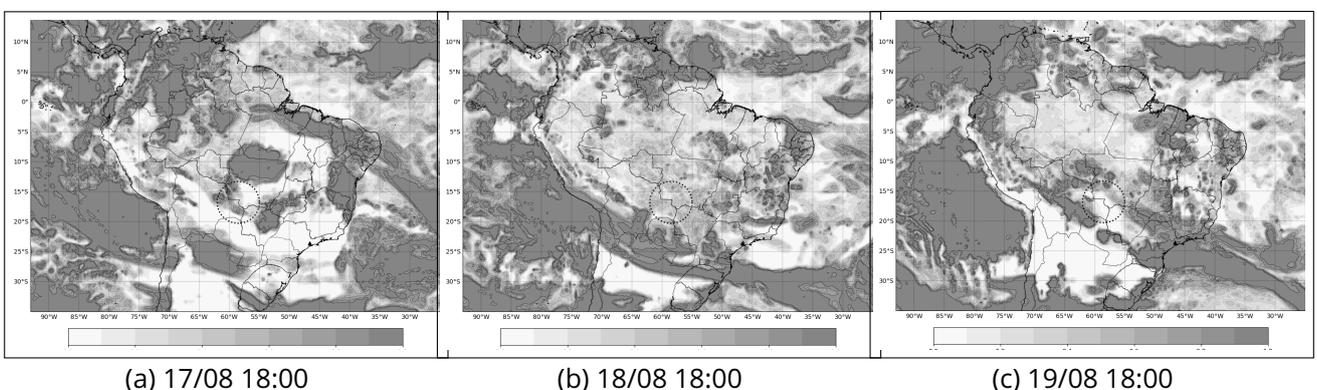
baixos níveis. Assim, pode haver elevação na entrada equatorial (ar quente) e subsidência na entrada polar (ar frio). Isto pode ser um dos fatores que corrobora com as imagens do campo de nebulosidade durante o dia 17 e 18 ao longo do Rio Grande do Sul, onde, pode-se observar o aumento gradual da nebulosidade visto na figura 4. Ao fim do dia 18 e primeiras horas do dia 19, o jato se desloca para latitudes mais baixas, movendo seu núcleo em direção ao oceano, mas ainda podendo influenciar o levantamento de parcelas sobre a região sudeste durante o período, por esta região agora estar na entrada equatorial do jato, podendo favorecer o aumento da cobertura de nuvens observado na figura 4.

Figura 3 – Campo de velocidade do vento em 200hPa e aerodinâmicas para os dias anteriores e durante o evento em 19 de agosto de 2019 às 18:00 UTC. A região circular demarcada em preto é semelhante à região da figura 1 indicando os focos de incêndio mais intensos



Fonte: Autores(as)

Figura 4 – Campo de nebulosidade para os dias anteriores e durante o evento em 19 de agosto de 2019 às 18h UTC. A região circular demarcada em preto é semelhante à região da figura 1 indicando os focos de incêndio mais intensos

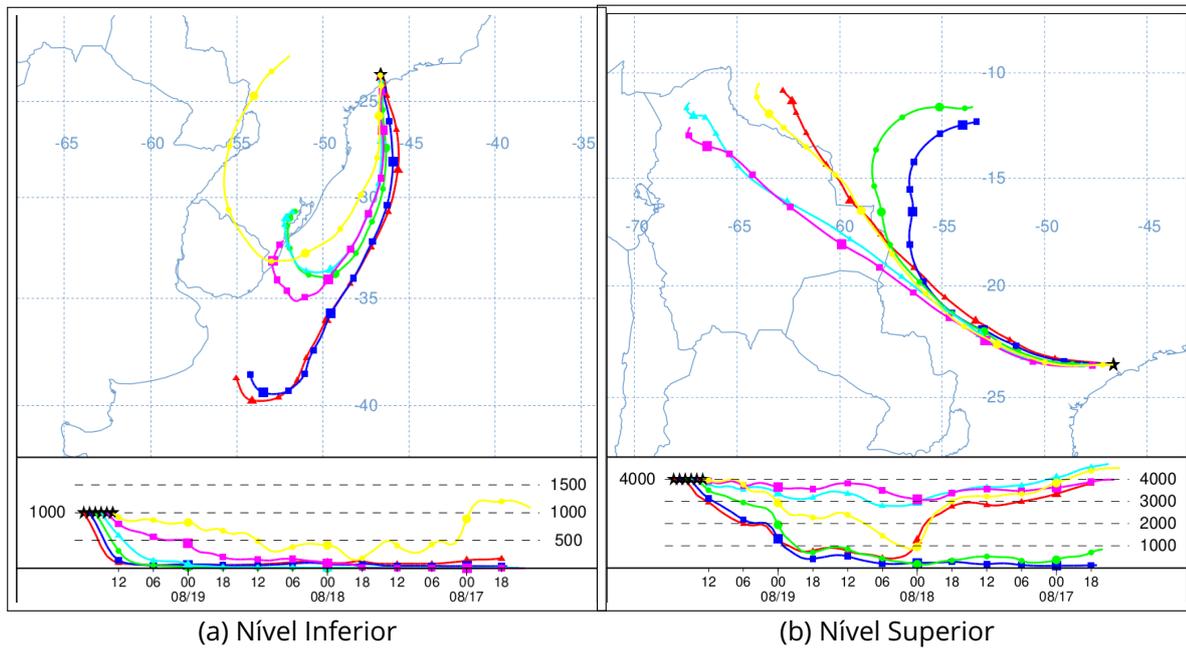


Fonte: Autores(as)

3.2 TRAJETÓRIA DE PARTÍCULAS VIA HYSPLIT

A análise dos dados de trajetória das parcelas do modelo HYSPLIT fornece informações sobre o comportamento atmosférico durante o evento. A cidade de São Paulo foi escolhida com um "backward" de 72 horas, onde nos níveis inferiores, pode-se observar o transporte de parcelas oriundas de latitudes mais altas para latitudes mais baixas, podendo ser associado ao anticiclone pós-frontal como destacado por Lemes et al. (2020) ocorrendo próximo à superfície. Ao observar a figura 5, pode-se notar o impacto do transporte em níveis superiores da atmosfera da região amazônica em direção a São Paulo, onde grande parte desse transporte ocorre em níveis médios, podendo indicar o favorecimento do transporte por culpa da existência do JBN, anteriormente destacado nos dias anteriores ao evento. Além disso, a rotação anticiclônica observada na figura 2 pode ter contribuído para esse fluxo e transporte direto para a região sudeste e conseqüentemente para São Paulo. Estas trajetórias corroboram com o que foi observado nos resultados do Bencherif et al. (2020), onde com base nos dados do IASI foi indicado um transporte de CO ao longo da região sul durante os dias 17 e 18, com um deslocamento deste transporte no dia 19 onde o a maior concentração de CO estava localizada na região sudeste.

Figura 5 – Trajetória das partículas de ar que chegaram à capital paulista em 19 de agosto de 2019 realizada a partir do modelo online HYSPLIT Draxler and Rolph (2010)



Fonte: retirada de <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/>

4 CONCLUSÃO

Este estudo tem como objetivo apresentar as condições sinóticas durante um evento de transporte para a região sudeste, com foco em São Paulo, de particulados provenientes da queima de biomassa na região amazônica, resultando no que foi destacado como *"a tarde que virou noite em São Paulo"* devido às altas concentrações de aerossóis. A partir disso, os campos sinóticos foram analisados para corroborar com estudos anteriores como Lemes et al. (2020) e Bencherif et al. (2020), abordando que com o aumento da intensidade do fluxo em níveis mais baixos da atmosfera em direção ao sul do Brasil, há um aumento de partículas na região. Porém, devido ao deslocamento de um sistema frontal sobre a região, tem-se a ocorrência da inversão do vento em direção à região sudeste, e assim foi observado um aumento significativo nas concentrações de CO no final do dia 18 e madrugada do dia 19. Este transporte ocorreu principalmente nos níveis médios (entre 2.000 a 3.000 metros), enquanto nos níveis mais baixos foi observado o transporte de parcelas de ar provenientes do sul devido ao anticiclone pós-frontal. Este transporte em níveis médios pode ter sido auxiliado pela rotação anticiclônica, localizada na região centro-oeste, em direção à

região sudeste. Este material particulado pode ter servido como núcleo de condensação de nuvens, sendo fundamental para a microfísica de nuvens ao longo da região, podendo assim ter levado a aumento da nebulosidade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se no projecto B2IST “Biomass Burning and Impacts in the Southern Tropics” registado sob o nº. 88881.694487/2022-01. Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro e ao programa COFECUB (Comitê Francês de Avaliação da Cooperação Universitária com o Brasil) responsável pela promoção desta pesquisa. Os autores agradecem devido a utilização dos dados meteorológicos a partir da reanálise do ERA5 fornecidos pelo ECMWF e também os dados do HYSPLIT fornecidos pela NOAA.

REFERÊNCIAS

- Bencherif, H., Bègue, N., Kirsch Pinheiro, D., Du Preez, D. J., Cadet, J.-M., da Silva Lopes, F. J., Shikwambana, L., Landulfo, E., Vescovini, T., Labuschagne, C., et al. (2020). Investigating the long-range transport of aerosol plumes following the amazon fires (august 2019): A multi-instrumental approach from ground-based and satellite observations. *Remote Sensing*, 12(22):3846.
- C3S (2017). Era5.
- Cavalcanti, I. F., Silveira, V. P., Figueroa, S. N., Kubota, P. Y., Bonatti, J. P., and de Souza, D. C. (2020). Climate variability over south america-regional and large scale features simulated by the brazilian atmospheric model (bam-v0). *International Journal of Climatology*, 40(5):2845–2869.
- Draxler, R. and Rolph, G. (2010). Hysplit (hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory) model access via noaa arl ready website (<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit.php>), noaa air resources laboratory. *Silver Spring, MD*, 25(1).
- Flannigan, M. D. and Haar, T. V. (1986). Forest fire monitoring using noaa satellite avhrr. *Canadian Journal of Forest Research*, 16(5):975–982.

Forest, C. E., Stone, P. H., Sokolov, A. P., Allen, M. R., and Webster, M. D. (2002). Quantifying uncertainties in climate system properties with the use of recent climate observations. *science*, 295(5552):113–117.

Lemes, M., Reboita, M. S., and Capucin, B. C. (2020). Impactos das queimadas na amazônia no tempo em são paulo na tarde do dia 19 de agosto de 2019. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(3):983–993.

Quadro, M. F. L. d., Dias, M. A. F. d. S., Herdies, D. L., and Gonçalves, L. G. G. d. (2012). Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da zcas através da nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27:152–162.

RamanathanV, C. et al. (2001). Atmosphere aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, 294(5549):2119r2124.

Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P. d., and Ambrizzi, T. (2010). Regimes de precipitação na américa do sul: uma revisão bibliográfica. *Revista brasileira de meteorologia*, 25:185–204.

Seaman, C. J., Line, W., Ziel, R., Jenkins, J., Dierking, C., and Hanson, G. (2023). Multispectral satellite imagery products for fire weather applications. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., and Melillo, J. M. (1997). Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 277(5325):494–499.

Contribuições dos autores

1 – Douglas Lima de Bem

Meteorologista

<https://orcid.org/0000-0002-7199-7405> • douglaslima523@gmail.com

Contribution: Conceitualização; Metodologia; Redação – Preparação do Rascunho Original

2 – Vagner Anabor

Meteorologista

<https://orcid.org/0000-0002-7301-2075> • vanabor@ufsm.br

Contribution: Revisão de Literatura, Análise de Dados, Redação – Revisão & Edição

3 – Gabriela Dornelles Bittencourt

Meteorologista

<https://orcid.org/0000-0002-4572-119X> • gadornellesbittencourt@gmail.com

Contribution: Análise de Dados

4 – Damaris Kirsch Pinheiro

Engenheira Química

<https://orcid.org/0000-0001-6939-7091> • damaris@ufsm.br

Contribution: Conceitualização, análise de dados, redação – revisão & edição

5 – Franciano Scremin Puhales

Físico, Meteorologista

<https://orcid.org/0000-0001-6112-3803> • franciano.puhales@ufsm.br

Contribution: Conceitualização, Redação – Revisão & Edição

6 – Hassan Bencherif

Meteorologista

<https://orcid.org/0000-0003-1815-0667> • hassan.bencherif@univ-reunion.fr

Contribution: Análise de Dados – Revisão & Edição

7 – Nelson Bègue

Meteorologista

<https://orcid.org/0000-0003-0720-9205> • nelson.begue@univ-reunion.fr

Contribution: Análise de Dados – Revisão & Edição

8 – Luiz Angelo SteffeneL

Cientista da computação

<https://orcid.org/0000-0003-3670-4088> • luiz-angelo.steffeneL@univ-reims.fr

Contribution: Análise de Dados – Revisão & Edição

Como citar este artigo

Bem, D. de, Anabor, V., Bittencourt, G. D., Pinheiro, D. K., Puhales, F. S., Bencherif, H., B'ègue, N., & SteffeneL, L. A. (2024). Análise das condições sinóticas durante os incêndios florestais na Amazônia e seu impacto na cidade de São Paulo em 19 de agosto de 2019. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 46, esp. 2, e87844. <https://doi.org/10.5902/2179460X87844>