Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.3 (2020) 983-993.

ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage:https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe

Impactos das queimadas na Amazônia no tempo em São Paulo na tarde do dia 19 de agosto de 2019

Murilo da Costa Ruv Lemes[1], Michelle Simões Reboita[2], Bruno César Capucin [3]

[1] Msc. em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Doutorando, Centro de Ciências do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, CEP 12227-010, São José dos Campos, São Paulo. (12) 991939099. murilo.ruv@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2991-7755 (autor correspondente). [2] Dr. em Meteorologia, Professora, Pesquisadora, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. mireboita@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1734-2395. [3] Mestrando em meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. brunocapucin23@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0166-6739.

Artigo recebido em 01/11/2019 e aceite em 22/03/2020.

R E S U M O

No dia 19 de agosto de 2019, a cidade de São Paulo (SP) presenciou um evento incomum que deixou grande parte da população assustada com o ocorrido. Próximo às 15 h, o céu na cidade de São Paulo escureceu tornando o dia em noite. Diante desse contexto, o objetivo do estudo é descrever o ambiente atmosférico associado ao evento registrado em São Paulo. Para tanto, foram utilizadas diferentes fontes de dados: cartas sinóticas e análises de modelos de tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), imagens de satélite, dados de diferentes modelos atmosféricos, monitoramento da qualidade do ar Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e notícias veiculadas pela mídia. Nos dias prévios ao 19 de agosto foram documentadas queimadas na Amazônia e a presença de ventos em baixos níveis da atmosfera (~700 hPa) que auxiliavam o transporte do material particulado das regiões de queimadas para o sul do país. No dia 19, com a chegada de um sistema frontal em São Paulo, os ventos em baixos níveis passaram a escoar da Amazônia em direção ao sudeste, transportando o material particulado para tal região. O material particulado (pluma de fumaça) não foi registrado em superfície, já que as estações da CETESB não documentaram padrão anômalo nas observações. Sugere-se que o material particulado serviu como núcleo de condensação de nuvem, gerando muitas gotículas de nuvem que refletiram radiação para fora da atmosfera, deixando escura a tarde de São Paulo.

Palavras-chave: queimadas; jato de baixos níveis; São Paulo

Impact of the Amazon fires on the weather in São Paulo in the afternoon on August 19, 2019

A B S T R A C T

On August 19, 2019, the city of São Paulo (SP) presented an unusual event that frightened most of the population. At about 3 pm, the sky in the city of Sao Paulo darkened turning the day similar to night. Given this context, the objective of the study is to describe the atmospheric environment associated with the event registered in São Paulo. Different data sources were used: synoptic charts and weather model analysis from the Weather Forecasting and Climate Research Center (CPTEC), satellite images, different kinds of atmospheric models data, air quality monitoring data from Environmental Company of Sao Paulo State (CETESB) and news published by the media. In the days prior on August 19 several fire spots in the Amazon were registered and the presence of winds at low levels of the atmosphere helped to transport particles to the south of the country. On the 19th, with the arrival of a frontal system in São Paulo, the low-level winds (~700 hPa) flow from the Amazon to the southeast of Brazil, transporting the particulate material to this region. The particles (smoke plume) were not recorded on the surface, once CETESB stations did not document anomalous pattern in the observations. It is suggested that particulate matter as a cloud's condensing nucleus, generating many cloud particles that reflect the influence of an atmosphere becoming it dark in the afternoon in Sao Paulo.

Keywords: burned; low level jet; Sao Paulo

Introdução

Em 19 de agosto de 2019 o dia virou noite na cidade de São Paulo por volta das 15 horas local (Figura 1). Esse evento assustou muitos moradores e logo se transformou em notícia, tanto na mídia nacional quanto internacional.

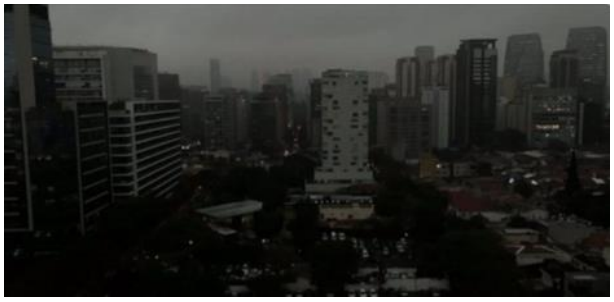

Figura 1. Cidade de São Paulo às 15 h no dia 19 de agosto de 2019 com céu escurecido. Fonte: EL PAÍS (2019).

Os noticiários atribuíam o escurecimento do céu às queimadas na Amazônia que estavam eminentes desde dias prévios ao evento em São Paulo. De fato, a atmosfera não é estática e eventos que ocorrem numa região podem ter impactos em outras através da circulação atmosférica.

Não é de hoje que a região da floresta Amazônica (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins; IBGE, 2019) tem registro de queimadas (Copertino et al., 2019). Em entrevista no dia 5 de agosto de 2019, o ex-diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Dr. Ricardo Magnus Osório Galvão, menciona que a floresta é extremamente úmida e que não há como ter incêndios espontâneos como aponta o atual governo brasileiro. O problema associado às queimadas está intimamente relacionado ao desmatamento como mostra Copertino et al. (2019). Embora queimadas espontâneas possam ocorrer (forte aquecimento diurno somado à vegetação seca) a maioria dos 74.155 focos registrados pelo INPE ao longo de 2019, foram de origem criminosa segundo Dr. Ricardo Galvão (g1.globo.com/globo-news/videos/v/o-incendio-na-amazonia-e-uma-consequencia-do-desmatamento-afirma-ricardo-galvao/8224741/).

O INPE, por meio de seu sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER), contabilizou um aumento significativo de áreas desmatadas entre janeiro a agosto de 2019 comparado ao mesmo período em 2018. Entre janeiro e agosto de 2018 o desmatamento atingiu 3.336,7 km^2, enquanto em 2019 esse número duplicou, atingindo cerca de 6.404,4 km^2. A Figura 2 ilustra uma parte da Amazônia em que há vegetação natural e outra sem vegetação, provavelmente usada para a pecuária.

Figura 2. Área desmatada em Novo Progresso (PA). Fonte: EL PAÍS (2019).

A queima da biomassa gera diversos prejuízos: libera gases de efeito estufa para a atmosfera (Artaxo et al., 2006); causa a morte de espécies animais e vegetais, reduzindo a biodiversidade (Loureiro e Dos Santos, 2018; Pardini, 2020), e é responsável por problemas de saúde pública, pois causa doenças respiratórias atingindo todas as faixas etárias da população, mas com maiores consequências em crianças e idosos.

É preciso esclarecer à sociedade que a floresta Amazônica desempenha papel fundamental não só no clima local, mas também no global (Betts et al., 2004; Nobre e Borma, 2013). Por exemplo, através da circulação atmosférica calor e umidade são transportados da região amazônica para o centro, sul e sudeste do Brasil (Nobre et al., 2007; Reboita et al., 2010; Arraut et al., 2012; Ruv Lemes et al., 2017; Reboita e Santos, 2018; Amorim et al., 2019), o que é extremamente importante para a qualidade da estação chuvosa no sudeste do país e para a economia, uma vez que, grande parte da produção agrícola do país está nessa área (sudeste, em específico, o estado de São Paulo) (Troian e Machado, 2020). Além disso, a floresta é importante no processo de sequestro de CO_2 (gás de efeito estufa), isto é, retira CO_2 da atmosfera (Paiva e Baptista, 2019).

Como a circulação atmosférica não é igual em todas as camadas da atmosfera, ela é estudada em diferentes níveis que correspondem à determinada coordenada vertical de pressão. Por exemplo, os níveis de 850 a 700 hPa são considerados níveis baixos (~ 2-3 km de altura) e, na América do Sul, uma característica da circulação atmosférica nessa altitude é o escoamento conhecido como jatos de baixos níveis (JBN) a leste dos Andes, que favorece forte advecção de ar quente e úmido (Marengo et al.,

2004; Reboita et al., 2010) da região de floresta Amazônica, ora indo para norte da Argentina e sul do Brasil e ora indo para a região sudeste, conforme ilustra a Figura 3. Os mecanismos de formação do JBN podem ser encontrados em Vera et al. (2006) e Santos e Reboita (2018). A variabilidade na trajetória do JBN (Figura 3) geralmente é modulada pela configuração dos sistemas atmosféricos de escala sinótica (frentes frias e ciclones). A passagem desses sistemas pelas maiores latitudes da América do Sul tende a direcionar o JBN para o sul do país (Figura 3a). Contudo, perturbações sinóticas em latitudes mais baixas (Figura 3b) tendem a deslocar o JBN para o sudeste do país (Reboita et al., 2012; Santos e Reboita, 2018).

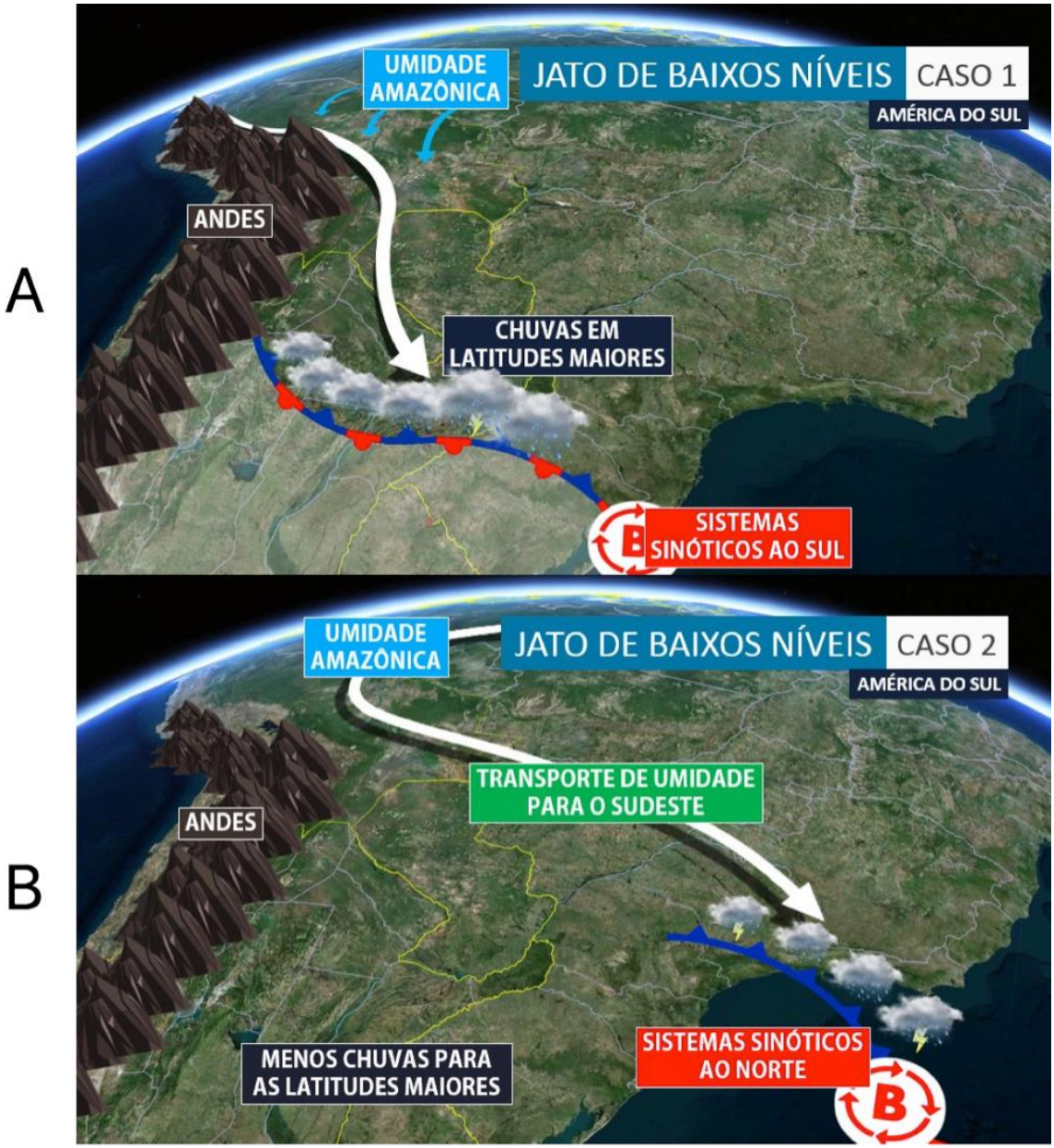

Figura 3. Representação esquemática do JBN (setas em amarelo) no continente sul-americano: a) deslocando-se para o sul do Brasil e b) deslocando-se para o sudeste do país. Fonte: Autores.

Como perturbações de escala sinótica podem-se citar, por exemplo, os sistemas frontais (SF; Escobar et al., 2019). Esses sistemas estão associados com o deslocamento de massas de ar frio que se deslocam de altas para baixas latitudes. Portanto, a passagem de uma frente fria causa queda na temperatura do ar, mudança na direção

dos ventos, nebulosidade e, na maioria das vezes, precipitação. Na América do Sul, o impacto desses sistemas na precipitação é apresentado por Pampuch e Ambrizzi (2016) e Escobar et al. (2019).

No dia 19 de agosto, o Estado de São Paulo e o oceano Atlântico foram influenciados por uma frente fria, como mostra a Figura 4 (imagem do satélite NOAA-20), onde havia condições para o desenvolvimento de nuvens na região da frente.

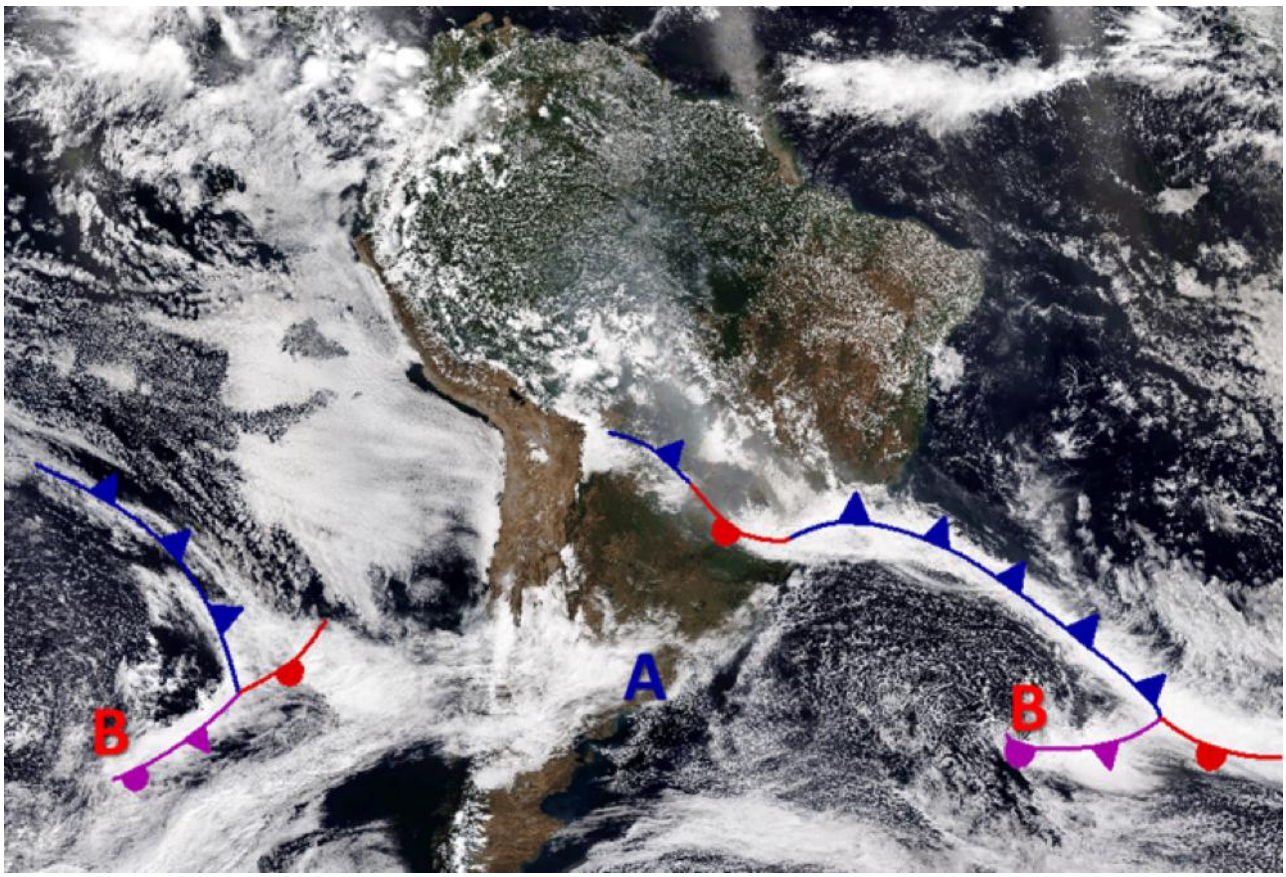

Figura 4. Imagem do satélite NOAA-20 da combinação de três canais de cores diferentes (TRUE COLOR) para o dia 19 de agosto de 2019. As letras A e B referem-se à alta e baixa pressão atmosférica, respectivamente. As linhas em azul com triângulos são frentes frias, linhas vermelhas com semicírculos equivalem às frentes quentes e as linhas roxas intercalando triângulos e semicírculos são frentes oclusas. Fonte: Autores.

Diante do contexto apresentado, o objetivo do estudo é descrever o ambiente atmosférico associado ao evento de escuridão no céu de São Paulo registrado por volta das 15 horas local do dia 19 de agosto de 2019, para que seja identificado que, além de muitos sistemas atmosféricos atuantes no momento, a pluma de fumaça oriunda da floresta Amazônica foi, também, responsável pela escuridão no céu de São Paulo.

Metodologia

Dados

O estudo utiliza diferentes fontes de dados:

- cartas sinóticas e análises de modelos de tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) para avaliar o padrão da circulação atmosférica, disponível em: tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?Tipo= Superficie;

- análises do Global Forecast System (GFS) para mostrar a circulação atmosférica nos níveis de 1000 hPa e 700 hPa (figuras obtidas do site Earth https://earth.nullschool.net/pt/);

- imagens do canal visível do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 16 disponível em: www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html, para verificar a nebulosidade e o material particulado em suspensão na atmosfera bem como o satélite NOAA-20 (https://www.nesdis.noaa.gov/JPSS-1);

- dados do modelo The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPLIT; ready.noaa.gov/HYSPLIT.php) para acompanhar a trajetória das parcelas de ar que chegavam no Estado de São Paulo no dia 19;

- radiossondagem das 1200 Z do dia 19 de agosto realizada no Campo de Marte na cidade de São Paulo obtida de weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html (às 1800 Z não é realizada medidas do perfil atmosférico);

- dados de monitoramento de qualidade do ar da CETESB para identificação de possível aumento do material particulado no monitoramento do dia 19 em comparação com a média histórica (cetesb.sp.gov.br/ar/redes-de-monitoramento/);

- análise do transporte da pluma de queimada pelo modelo BRAMS – 20 km (otempo.com.br/interessa/);

- notícias veiculadas pela mídia.

Análises

A situação sinótica entre os dias 17 a 19 de agosto foi descrita através das imagens de satélite e de cartas sinóticas de superfície do CPTEC e de campos de vento em 700 hPa e 1000 hPa no horário das 1800 Z obtidos do site Earth, que por sua vez utiliza as análises do GFS. Esse horário foi selecionado uma vez que representa 15 horas local, que é justamente o horário do evento em estudo.

A fim de confirmar que o Estado de São Paulo estava sendo influenciado por ar transportado da região das queimadas, são apresentados dois produtos: simulações realizadas pelo CPTEC e análise da trajetória de parcelas de ar realizadas pelo modelo HYSPLIT. Nesse segundo caso, seleciona-se uma região e o modelo mostra o caminho das parcelas de ar que chegam no ponto escolhido. No caso, foi selecionada a área da capital paulistana.

Para se ter um indicativo de que o material transportado da região das queimadas para o sudeste do país chegou até a superfície ou apenas influenciou as camadas de ar acima dessa, são mostrados os índices horários de concentração de material particulado (MP2.5) registrados pela CETESB. A ideia é saber se no dia 19, em algum horário, houve maior concentração sendo considerada ruim pela classificação desse centro.

Resultados

Entre os dias 17 a 19 de agosto a mídia mostrou imagens da ocorrência de queimadas na Amazônia. Essas queimadas (Artaxo et al., 2019) também são identificadas por satélites que, dependendo dos sensores, podem detectar focos de calor e fumaça. Por exemplo, a Figura 5a-c mostra uma pluma de fumaça (na cor cinza) sobre o Estado de São Paulo, principalmente, entre os dias 18 e 19 de agosto, registrada pelo satélite NOAA-20. Na mesma figura é apresentado o escoamento da atmosfera às 1800 Z em 700 e 1000 hPa. Em 700 hPa (Figura 5d-f), nos dias 17 e 18 o escoamento se dirige do sul da Amazônia para o norte da Argentina, porém, no dia 19 está direcionado para o sudeste do Brasil. A mudança na trajetória do escoamento em 700 hPa, isto é, do JBN (Llopart et al., 2019), está associada com o deslocamento do sistema frontal que atua no Estado de São Paulo no dia 19 (Figura 5j-l). Já em 1000 hPa, a Figura 5g-i não mostra escoamento da Amazônia para o sudeste do Brasil. A característica marcante desse nível é a presença da convergência dos ventos caracterizando a região frontal.

A circulação atmosférica em 700 hPa, através do JBN, parece ser a responsável pelo transporte do material particulado em suspenção para as maiores latitudes. De fato, simulações do modelo BRAMS (Cavalcanti et al., 2019) (Figura 5m-o) com resolução horizontal de 20 km, realizadas pelo INPE (indicando o transporte de partículas em altitude de 3 km), mostram a trajetória de material particulado (PM2.5) em direção ao norte da Argentina nos dias 17 e 18 e no dia 19 para a região sudeste (Figura 5B).

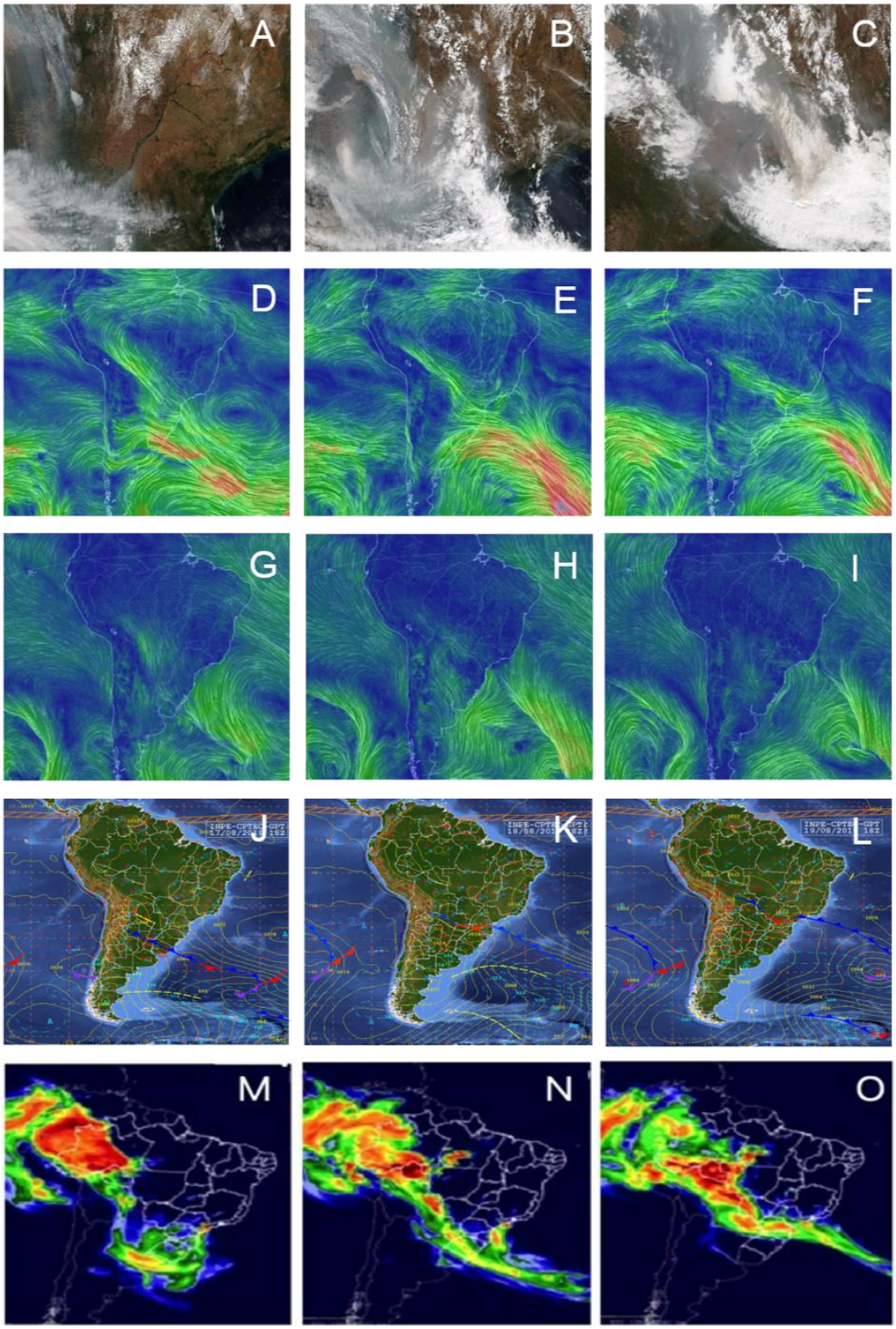

Figura 5. A-C: Imagem do satélite NOAA-20 (TRUE COLOR) para os dias 17, 18 e 19 de agosto de 2019. D-F: Campo de vento do modelo Global Forecast System (GFS) em 700 hPa representado pelo visualizador Earth Null School nos dias 17, 18 e 19 às 1800 Z. G-I: Campo de vento do modelo Global Forecast System (GFS) em 1000 hPa representado visualizador Earth Null School nos dias 17, 18 e 19 às 1800 Z. J-L: Carta sinótica de superfície do Centro de Previsão e Estudos Climáticos (CPTEC) para os dias 17, 18 e 19 às 1800 Z. M-O: Simulação de material particulado pelo modelo BRAMS para os dias 17, 18 e 19 às 1800 Z. Fonte: Autores.

Outra forma de mostrar a trajetória das parcelas de ar que chegam numa determinada região é usando o modelo HYSPLIT (Tadini et al., 2020). Nesse, é definido um local e o modelo determina a trajetória (caminho percorrido) das parcelas de ar que chegam naquele ponto. A região escolhida foi a cidade de São Paulo (Figura 6) no dia 19. No painel superior (Figura 6a) são apresentas as parcelas de ar que viajam do sul da região amazônica para a capital paulistana, sendo que esse transporte ocorre principalmente a cerca de 3 km como mostra o painel inferior da Figura 6a. Já na Figura 6b, há transporte de parcelas de ar de latitudes mais altas para mais baixas associadas com o anticiclone pós-frontal na retaguarda da frente fria. Esse transporte ocorre muito próximo da superfície como indica o painel inferior da Figura 6b.

A Figura 6 revelou que a trajetória das parcelas de ar da região de predomínio de queimadas para a capital paulistana ocorre principalmente a cerca de 3 km e que em altitudes, por exemplo, maiores do que 5 km não há transporte. Um fato que deve ter contribuído para restringir a altitude superior das parcelas de ar foi a ocorrência de inversão térmica como mostra a radiossondagem das 1200 Z do dia 19 de agosto realizada no Campo de Marte em São Paulo (Figura 7).

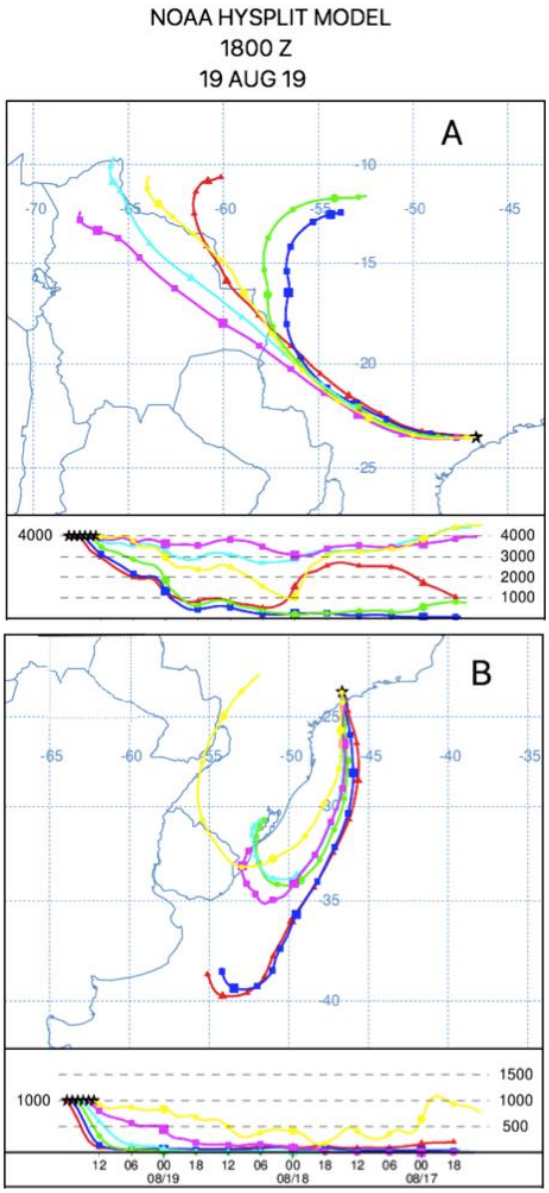

Figura 6. Trajetória das partículas de ar que chegaram à capital de São Paulo no dia 19 de agosto de 2019. Em (a) é mostrado o transporte da região amazônica para o sudeste e em (b) das latitudes mais altas para as mais baixas. Em ambas as figuras, a parte inferir mostra a altitude da trajetória das parcelas de ar. Fonte: NOAA HYSPLIT (2019).

Na Figura 7, o diagrama Skew-T apresenta uma linha preta à esquerda, indicando a temperatura de ponto de orvalho enquanto a da direita, a temperatura do ar ao longo das camadas atmosféricas no dia 19 de agosto de 2019. Quando as duas linhas estão unidas, significa que a atmosfera está saturada e quando muito afastadas que há inversão térmica. Entre 900 e 800 hPa a atmosfera está saturada (propícia à formação de nuvens), enquanto em níveis superiores a 550 hPa há uma grande inversão térmica (Figura 7). A inversão dificulta os movimentos ascendentes na atmosfera atuando como uma "tampa" (Mendonça et al., 2019). Assim, o material em suspensão que viajou da região das queimadas para o sudeste também não teve possibilidade de se dispersar para níveis mais elevados, ficando concentrado em baixos níveis da atmosfera. Padrão similar ao descrito é mostrado por Yicun et al. (2020) em caso de concentração de $PM_{2,5}$ no Irã.

Considerando o dia do céu escurecido em São Paulo (dia 19), a presença do sistema frontal (Figura 6) foi importante para a ocorrência de instabilidade na atmosfera, mas que se restringiu aos baixos níveis, não ultrapassando 500 hPa. Assim, a interação do material particulado transportado pela circulação atmosférica com a região frontal (Carmo et al., 2019) pode ter atuado de duas maneiras:

- O material particulado serviu de núcleo de condensação de nuvem permitindo a grande produção de gotas de nuvem (geração de nuvens espessas). Consequentemente, mais radiação solar foi refletida para o espaço, tornando o céu escuro na tarde do dia 19 de agosto.
- O próprio material particulado em suspensão também pode ter refletido radiação (Malavelle et al., 2019).

As hipóteses mencionadas também foram sugeridas por Davi Moura (Meteorologista no Instituto Max Planck na Alemanha), Dr. Paulo Artaxo da Universidade de São Paulo (USP) e Dr. Saulo Ribeiro do INPE. Esses dois últimos concederam uma entrevista à revista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) que foi divulgada no dia 22 de agosto. Segundo eles, o material particulado em suspenção (fumaça) contribuiu como núcleo de condensação, favorecendo assim a precipitação no dia do evento.

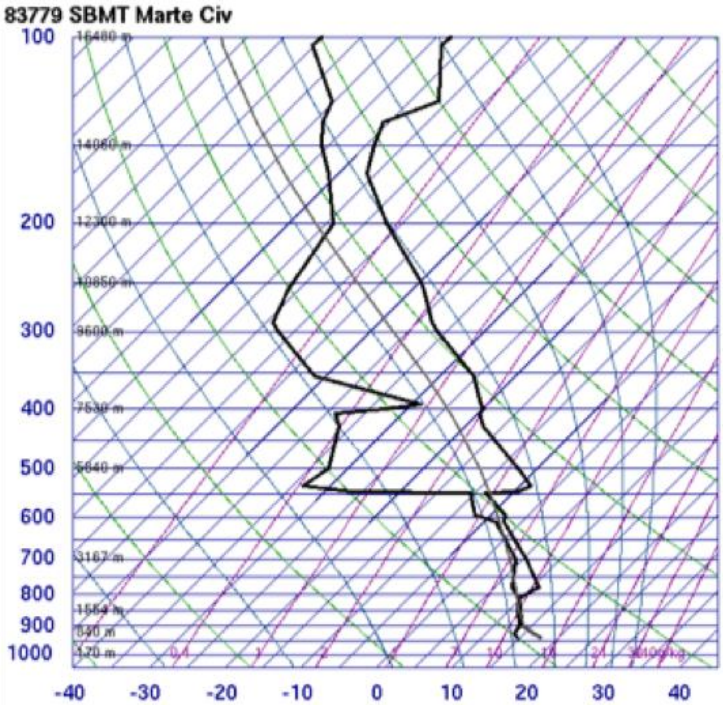

Figura 7. Diagrama Skew-T em São Paulo (Campo de Marte) no dia 19 de agosto de 2019 às 1200 Z. Fonte: University of Wyoming (2019).

Com relação à qualidade do ar na capital paulistana no dia 19, são mostrados os índices de material particulado MP2.5 medido nas estações de monitoramento da CETESB em Congonhas e Ibirapuera. A Figura 8 mostra que o índice possui classificação entre bom e moderado (entre 0 e 40 é considerado um nível bom, já os valores entre 41 e 80 são considerados moderado, que é um valor típico nessas estações). Portanto, não ocorreu alteração no índice, o que indica que as camadas de ar próximas da superfície não foram afetadas pelas queimadas da Amazônia. De fato, a Figura 5 não mostra escoamento da Amazônia para o sudeste no nível de 1000 hPa bem como a Figura 6A (parte inferior) não indica transporte em baixos níveis; nessa a trajetória das parcelas ocorre, principalmente, a certa de 3 km de altura (baixos níveis da atmosfera).

Congonhas		Ibirapuera	
	MP2.5 µg/m³		MP2.5 µg/m³
Horário	Índice/ Qualidade do ar	Horário	Índice/ Qualidade do ar
00	33	00	35
01	31	01	35
02	31	02	35
03	33	03	33
04	31	04	31
05	30	05	30
06	28	06	28
07	28	07	27
08	28	08	27
09	28	09	27
10	27	10	25
11	27	11	24
12	27	12	22
13	27	13	22
14	27	14	22
15	24	15	20
16	24	16	19
17	22	17	17
18	22	18	16
19	20	19	14

Figura 8**.** Índice horário de MP2.5 em duas estações (Congonhas e Ibirapuera) da CETESB. Fonte: CETESB (2019) Fonte: https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/php/ar_dados_horarios.php.

Após o evento da tarde do dia 19 de agosto, a mídia, de maneira geral, evidenciou a coleta da água da chuva feita por moradores da grande São Paulo e de municípios vizinhos como mostra a Figura 9. Porém, essa coleta foi realizada de maneira irregular. A utilização de recipientes em calhas, ou até mesmo no quintal das residências, capta água que desce do telhado e, por isso, grande

parte da sujeira que apareceu na coleta não necessariamente é da precipitação do dia 19 de agosto.

Figura 9. Água de precipitação ocorrida em São Paulo no dia 19 de agosto de 2019 com coloração escura em função das queimadas na Amazônia. Fonte: G1.

Conclusões

Esse estudo sugere que o céu escurecido na cidade de São Paulo na tarde do dia 19 de agosto foi decorrente da associação do transporte de material particulado (gerado pelas queimadas), em baixos níveis da atmosfera (~700 hPa, mas não em superfície), da região amazônica para o sudeste do Brasil, com a presença de um sistema frontal sobre São Paulo. O material particulado pode ter servido como núcleo de condensação de nuvem contribuindo para a geração de um grande número de gotículas de nuvem. Essas por sua vez, contribuíram para refletir a radiação solar, o que deixou a tarde escura na capital paulistana. Além disso, havia em níveis médios inversão térmica, o que não permitiu a dispersão das partículas para maiores altitudes; portanto, o material em suspensão ficou concentrado em baixos níveis. Estudos envolvendo modelagem atmosférica são importantes para comprovar as hipóteses apresentadas aqui.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES código financeiro 001, e ao CNPq pelo auxílio financeiro e aos centros de meteorologia que disponibilizaram os dados usados nesse estudo.

Referências

Amorim, T, X., Senna, M, C, A., Cataldi, M., 2019. Impactos do desmatamento progressivo da Amazônia na precipitação no Brasil. Revista Brasileira de Climatlogia 24, 151 – 174. DOI: dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.58303.

Arraut, J.M., Nobre, C., Barbosa, H.M.J., Obregon, G., Marengo, J., 2012. Aeral Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. Journal of Climate 25, 2, 543-556. DOI: 10.1175/2011JCLI4189.1.

Artaxo, P., Oliveira, P.H., Lara, L.L., Pauliquevis, T. M., Rizzo, L. V., Pires, C.J., Pixão, M.A., Longo, K.M., De Freitas, S., Correia, A.L., 2006. Efeitos Climáticos de Partículas de Aerossóis Biogênicos e Emitidos em Queimadas na Amazônia. Revista Brasileira de Meteorologia 21, 3, 168-22.

Artaxo, P., Silva, E, J, V., 2019. Queimadas na Amazônia preocupam cientistas. Jornal da USP 06.

Betts, R. A., Cox, P.M., Collins, M., Harris, P.P., Huntingford, C., Jones, C.D., 2004. The Role of Ecosystem-Atmospheric Interaction in Simulate Amazonian Precipitation Decrease and Forest Dieback Under Global Climate Warming. Theorical and Applied Climatology 78, 153-175.

Carmo, L, F, R., Vasconcellos, F, C., Menezes, W, F., Vasconcellos, E, C., 2019. Análise dos índices de instabilidade em casos de chuva intensa, chuva moderada, e chuva fraca/sem chuva nas regiões sul e sudeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências UFRJ 42, 1,769-782. DOI: 10.11137/2019_1_769_782.

Cavalcanti, I, F, A., Silveria, V, P., Figueroa, S, N., Kubota, P, Y., Bonatti, J, P., De Souza, D, C., 2019. Climate variability over South America-regional and large-scale features simulated by the Brazilian Atmospheric Model (BAM-v0). International Journal of Climatolgy 1 – 22. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.6370.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Cartas Sinóticas de Superfície. 2019. Cachoeira Paulista.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2019. Índices de qualidade do ar (MP2.5). São Paulo.

Copertino, M., Piedade, M, T, F., Vieira, I, C, G., Bustamante, M., 2019. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. Ciência e Cultura 71, 4, 4-5. DOI: http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000400002

Escobar, G. C. J., Reboita, M. S., Souza, A. C., 2019. Climatology of Surface Baroclinic Zones in the East Coast of Brazil. Atmosfera 32, 129 – 141.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Geografia da floresta Amazônica. São Paulo.

Llopart, M, P., Reboita, M, S., Da Rocha, R, P., Machado, J, P., 2018. Performance do acoplamento REGCM4.3 e CLM3.5: Uma análise sobre o sudeste brasileiro. Anuário do Instituto de Geociências UFRJ 41, 3, 113-124. DOI: 10.11137/2018_3_113_124.

Loureiro, P. C.R., Dos Santos, F.G.F.P., 2018. A Importância da Biodiversidade no Desenvolvimento Futuro da Economia do Para e Amazonas. Congresso Brasileiro de Gestão 1, 208-220.

Malavelle, F, F., Haywood, J, M., Mercado, L, M., Folberth, G, A., Bellouin, N., Stich, S., Artaxo, P., 2019. Studying the impact of biomass burning aerosol radiative and climate effects on the Amazon rainforest productivity with an Earth system model. Atmospheric Chemistry and Physics 19, 1301-1326. DOI: 10.5194/acp-19-1301-2019.

Mendonça, T, B., Sato, L, M., Ogassawara, R, N., Teixeira, L, R., Aragão, G, L., Do Santos, G, M., De Souza, L, S., Menezes, C, A, S., 2019. Desenvolvimento de um método para análise de partículas de precipitação seca em ambiente atmosférico. Atas de Saúde Ambiental 7, 16 – 41.

Nobre, C.A., Sampaio, G.O., Salazar, L., 2007. Mudanças Climáticas na Amazônia. Ciência e cultura. 59, 3.

Nobre, C.A., Borma, L., 2013. Secas na Amazônia. Oficina de Texto. 1,1.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2019. Maryland.

NOAA-20. National Oceanic and Atmospheric Administration 20 Satellite. 2019. Martland.

Paiva, Y.R.Y., Baptista, G.M.M., 2019. Avaliação da Cobertura Florestal em Terra Indígena na Amazônia Legal, Por Meio da Modelagem Espectral de Sequestro de Carbono. Universidade Federal de Brasília 1, 1-88.

Pampuch, L.A., Ambrizzi, T., 2016. Sistemas Frontais Sobre a América do Sul Parte II: Monitoramento Mensal em Dados de Reanálise 1 do NCEP/NCAR. Ciência e Natura 38, 105-110. DOI: 10.5902/2179460X19811.

Pardini, P., 2020. Amazônia indígena: a floresta como sujeito. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Humanas 15,1, 1 – 11. DOI: 10.1590/2178-2547-bgoeldi-2019-0009.

Reboita, M.S., Gan, M.A., Da Rocha, R.P., Ambrizzi, T., 2010. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia 25, 10, 185-204.

Reboita, M, S., Da Rocha, R, P., Ambrizzi, T., 2012. Dynamic and Climatological Features of Cyclonic Developments over Southwestern South Atlantic Ocean, in: B. Veress; J. Szigethy. (Org.). Horizonts in Earth Science Research 6, p. 135-160.

Ruv Lemes, M.C., Sampaio, G.O., Fisch, G., Tedeschi, R.G., 2017. Analysis of Amazon Humidity Transport to South East of Brazil During the Southern Summer (DJF). Chycle SCI Forum 1, 1-8.

Silva, J.P.R., Reboita, M.S., Escobar, G.C.J., 2019. Caracterização da Zona de Convergência da Atlântico Sul em Campos Atmosféricos recentes. Revista Brasileira de Climatologia 25, 355-377. DOI: 10.580/abclima.v25i0.

Tadini, A., Roche, O., Samaniego, P., Guillin, A., Azzoui, N., Gouhier, M., Micheli Vitturi, M., Pardini, F., Eychenne, J., Bernard, B., Hidalgo, S., Le Pennec, J. L., 2020. Quantifying the uncertainty of a coupled plume and tephra dispersal model: PLUME-MOM/HYSPLIT simulationsapplied to Andean Volcanoes. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 125, 2. DOI: 10.1029/2019JB018390.

Troian, A., Machado, E, T, L., 2020. O programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar no Brasil: análise da evolução e distribuição entre 1999 e 2017. Desenvolvimento em questão 18, 50, 109 – 128. University of Wyoming. Radiossondagem Campo de Marte, São Paulo. 2019. Wyoming.

Yicun, G., Khorshiddoust, A, M.,Mohammadi, G, H., Sadr, A, H., Aghlmand, F., 2020. The relationship between PM2.5 concentrations and atmospheric conditions in severe and persistent urban pollution in Tabriz, northwest of Iran. Arabian Journal of Geosciences 13, 200. DOI: 10.1007/s12517-020-5128-z