



Avaliação dos Efeitos do Isolamento Social nos Níveis de NO₂, Durante a Pandemia de COVID-19, em Áreas Urbanas de Brasília, Anápolis e Goiânia, por Meio de Sensoriamento Remoto

Remote Sensing-Based Evaluation of Social Distancing Effects During the COVID-19 Pandemic on NO₂ Levels in the Urban Areas of Brasília, Anápolis and Goiânia

Larissa Vieira Valadao ¹, André Silva Tavares ², Catarina Balduino Sollaci ³, Christian Santana Cunha ⁴, Fortunato Bernardo Zau Mpongo ⁵ e Gustavo Macedo de Mello Baptista ⁶

1 Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. valadao.larissa@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8961-9517>

2 Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. andresttavares@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7099-8916>

3 Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. catarina.sollaci@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6040-3050>

4. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. christianscunha@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/000-0002-0755-6760>

5 Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. fortunatompongo@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0401-6846>

6 Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. gmbaptista@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1973-2725>

Recebido: 04.2022 | Aceito: 07.2022

Resumo: Como consequência da pandemia da COVID-19 foram observadas reduções nas concentrações de dióxido de nitrogênio (NO₂) na atmosfera em diversos países, pois esse gás está altamente relacionado à queima de combustíveis fósseis provenientes de meios de transportes. O objetivo deste trabalho é identificar as mudanças no padrão de emissão de NO₂ associadas às medidas de restrição de circulação e confinamento durante a pandemia, nas áreas urbanas de Brasília (DF), Anápolis e Goiânia (GO). Coletamos dados de NO₂ troposférico, por meio do sensor TROPOMI, do satélite Sentinel-5P, e dados de precipitação por monitoramento de satélite provenientes da rede de Medição de Precipitação Global (GPM). Calculamos as médias dos valores de NO₂ e precipitação (mm/h) para cada uma das imagens entre os anos de 2019 e 2021, bem como as médias móveis semanais para cada área urbana. Assim, delimitamos seis períodos de dois meses, e calculamos a razão da média móvel entre os anos 2020/2019 e 2021/2019. No período supracitado observamos queda na densidade da coluna de NO₂ em 2020, com aumento posterior, em 2021, no mesmo período e nas três regiões. Em Brasília a queda foi mais expressiva, sendo, em média, -9,35%, seguida de Goiânia com -2,61% e Anápolis com -1,34%. Apesar da queda das emissões em 2020, no ano seguinte ocorreu o aumento de emissão de NO₂. A maior alta observada foi em Goiânia, com +30,3%, seguida de Anápolis, +19,30%, e +16,08% em Brasília.

Palavras-chave: Sentinel-5P. Poluentes Atmosféricos. Dióxido de Nitrogênio. Lockdown.

Abstract: Due to the COVID-19 pandemic, reductions of nitrogen dioxide (NO₂) concentrations in the atmosphere were observed in several countries, since the gas is related to the burning of fossil fuels from means of transport. This study aims to identify the changes in the NO₂ emission pattern associated with measures to restrict circulation with confinement during the COVID-19 pandemic, in the urban areas of Brasília (DF), Anápolis and Goiânia (GO). Tropospheric NO₂ data were collected through the TROPOMI sensor, from the Sentinel-5P satellite, and precipitation data by satellite monitoring from the Global Precipitation Measurement (GPM) network. The average values of NO₂ and precipitation (mm/h) were calculated for each of the images between the years 2019 and 2021, as well as the weekly moving averages for each urban area. Thus, six two-month periods were defined, and the ratio of the moving average between the years 2020/2019 and 2021/2019 was calculated. In the aforementioned period, a decrease in the density of the NO₂ column was observed in 2020, with a later increase, in 2021, in the same period and in the three regions. In Brasília the drop was more expressive, being, on average, -9.35%, followed by Goiânia with -2.61% and Anápolis with -1.34%. The biggest increase was observed in Goiânia, with +30.3%, followed by Anápolis, +19.30%, and +16.08% in Brasília. Despite the drop in emissions in 2020, in the following year there was an increase on the NO₂ emission levels.

Keywords: Sentinel-5P. Air Pollutants. Nitrogen Dioxide. Lockdown.

1 INTRODUÇÃO

Atividades antropogênicas são responsáveis pela emissão de alta concentração de poluentes tais como matéria particulada (PM), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂), cujos efeitos são danosos a saúde humana (CHEN et al., 2007; GAUTAM; HEINS, 2020; HASHIM et al., 2021). O dióxido de nitrogênio (NO₂) está altamente relacionado à queima de combustíveis fósseis provenientes de meios de transportes terrestres, marítimos e aéreos. Por esse motivo, a dinâmica do NO₂ no período da pandemia oferece uma grande oportunidade para examinar as relações entre as políticas de quarentena e as variações do poluente na atmosfera, bem como os impactos da COVID-19 no meio ambiente. Também é importante observar questões de saúde pública, já que longas exposições a esse gás podem causar doenças cardiovasculares tais como hipertensão, doenças coronarianas e acidente vascular cerebral (ZHANG et al. 2021).

Com o advento da COVID-19 no fim do ano de 2019 na China e o rápido aumento do número de mortes pelo mundo foram estabelecidas medidas de emergência que variaram entre diferentes países ao longo do tempo. Essas medidas incluíram restrições de circulação, imposição de distanciamento social, confinamento (*lockdown*), limitação de aglomerações, restrições a realização de eventos, fechamento de fábricas, comércios, escolas e instituições consideradas não essenciais durante a pandemia. Em março de 2020, metade da população mundial estava sob alguma forma de confinamento (TOSEPU et al. 2020).

Em países da Ásia, Oriente Médio, América do Norte e Europa, foram observadas quedas nos níveis de gases poluidores na atmosfera e melhora significativa da qualidade do ar (HASHIM et al., 2021; KOVÁCS; HAIDU, 2021; ZHANG et al. 2021). Com a retomada das atividades e o afrouxamento do confinamento, os níveis de poluição do ar estão subindo e retornando aos níveis anteriores a pandemia (ESA, 2021). Os níveis de óxido de nítrico (NO) troposférico, medidos por meio de sensoriamento remoto (Sentinel-5P), caíram 40% na China, 20% na Europa e 38% na América do Norte (BAUWENS et al., 2020). A redução do dióxido de nitrogênio (NO₂) próximo à superfície, medidos por estações de monitoramento, tiveram um decaimento ainda maior com redução de 42% em áreas urbanas no Reino Unido, 63% na Malásia e de 50 a 62% na Espanha (BALDASANO, 2020; LEE et al., 2020; KANNIAH et al., 2020).

No Brasil, Nakada e Urban (2020) relataram para a cidade de São Paulo redução de até 77,3% para NO, até 53,4% para NO₂ e até 64,8% para CO durante o *lockdown* parcial (início em 24 de março de 2020) medidos a partir de 4 estações de monitoramento. Os autores apontaram ainda aumento de até 30% de ozônio (O₃) em áreas urbanas com grande frota e tráfego de veículos, o que pode ser uma consequência da diminuição de NO, pois a redução leva a um menor consumo de O₃ e posterior aumento da concentração deste último na atmosfera. Estudos em Belo Horizonte, com estações de monitoramento, mostraram redução de 65,2% na concentração de PM10 durante períodos de maior isolamento (PASSOS et al., 2021). Na região Nordeste do Brasil foi observada, por meio do Sentinel-5P, a queda nos níveis de NO₂ no segundo bimestre de 2020, momento em que houve maior isolamento social (-4,49%) seguido de aumento no bimestre seguinte, quando teve início uma recuperação econômica na região (+2,26%) (AZEVEDO et al., 2021). Esses estudos apontaram também que o aumento e queda dos níveis dos gases poluidores coincidem com a aplicação ou não das medidas de segurança implantadas.

A redução da intensidade de atividades causadoras de poluição, como transporte em áreas urbanas e rurais durante os períodos de maior restrição e imposição de *lockdown*, resultou em uma melhora diária da qualidade do ar capaz de afetar a saúde humana, inclusive reduzindo a mortalidade causada por doenças respiratórias (CHEN et al., 2020; KOVÁCS; HAIDU, 2021). Desse modo, analisar o comportamento nos padrões de poluentes evidencia o potencial de interferência danosa humana na poluição atmosférica, assim como a capacidade de regeneração do ambiente sem a interferência humana.

A variação dos níveis de poluição resultantes das restrições de circulação impostas durante a pandemia foi medida por meio de técnicas de monitoramento ambiental, tanto terrestre quanto espaciais, o que estimulou o desenvolvimento intenso de pesquisas no campo (HORMANN et al, 2021). O sensoriamento remoto destaca-se como instrumento para avaliar os níveis de gases poluidores durante o confinamento na pandemia e no período que a precedeu, proporcionando uma visão espacial contínua da distribuição da qualidade do ar, além de não dependente da presença de estações de monitoramento previamente instaladas em campo.

Nesse sentido, dados do satélite Sentinel-5, da Agência Espacial Europeia, surgem como uma opção viável de monitoramento, visto que o sensor acoplado *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) é capaz de realizar medições atmosféricas com boa resolução espaço-temporal para análise da qualidade do ar, ozônio e radiação UV e monitoramento e previsão do clima (ESA, 2022). Entretanto, o Sentinel-5P foi lançado em 2017 e os dados produzidos começaram a ser disponibilizados em julho de 2018 (ESA, 2022), o que limita a avaliação e comparação de séries temporais no período anterior à pandemia, antes do ano de 2019.

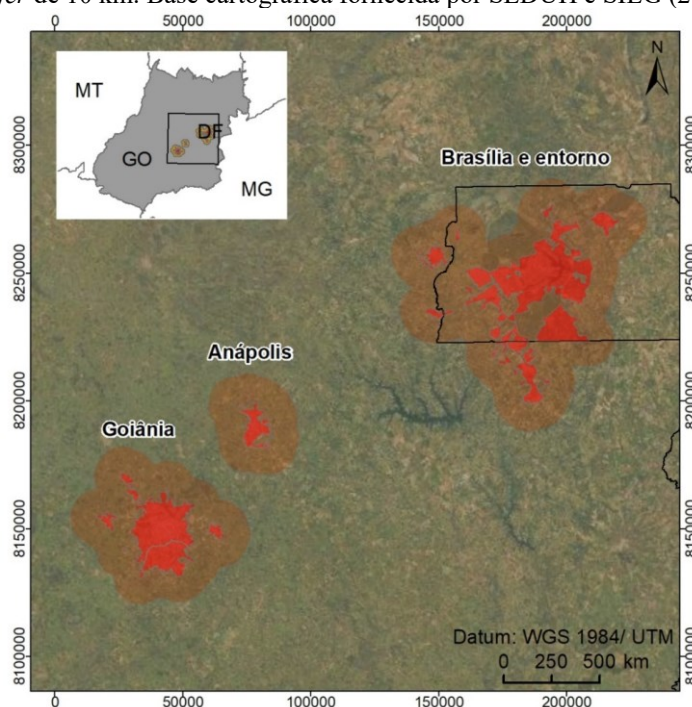
Este estudo foi desenvolvido no Distrito Federal e nas cidades de Goiânia e Anápolis, locais selecionados por terem os primeiros decretos de suspensão das atividades presenciais devido à pandemia de COVID-19, e por se tratar da Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE), o principal eixo do Centro-oeste, entre Brasília, Anápolis e Goiânia. Logo, partindo da hipótese de que, assim como em outras localidades do mundo e do Brasil, nas áreas urbanas mencionadas houve uma diminuição dos níveis do poluente NO₂ na atmosfera em tempos de confinamento, o objetivo desse estudo foi identificar as mudanças no padrão de emissão de NO₂ associadas a medidas de restrição de circulação e confinamento durante a pandemia de COVID-19. Para auxiliar na identificação dos níveis de gases poluidores, uma série temporal do satélite Sentinel-5P permitiu quantificar a ocorrência de decréscimo e aumento dos gases na atmosfera no recorte das áreas urbanas selecionadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende três principais áreas urbanas no eixo Brasília/Goiânia, consideradas fontes potenciais de emissão de poluentes e que sofrem grandes impactos negativos consequentes da poluição do ar. As regiões escolhidas são os núcleos urbanos de: 1) Brasília e entorno, 2) Anápolis e a 3) conurbação entre Goiânia e Aparecida de Goiânia, localizados nos estados do Distrito Federal e Goiás (Figura 1). Às zonas urbanas soma-se um *buffer* de 10 km, perímetro este que abrange regiões centrais, periféricas e industriais, dentro dos limites do núcleo urbano, foco desse estudo. Os procedimentos preventivos de emergência foram implantados em março de 2020 nas três regiões, sendo primeiro em Goiás, com início no dia 13 de março, Decreto n° 9.634 (GOIÁS, 2020), seguido por Brasília em 14 de março, Decreto n° 40.520, o mais restritivo (DISTRITO FEDERAL, 2020).

Figura 1 – Localização da área de estudo com destaque para as zonas urbanas das cidades e suas respectivas zonas de *buffer* de 10 km. Base cartográfica fornecida por SEDUH e SIEG (2022).



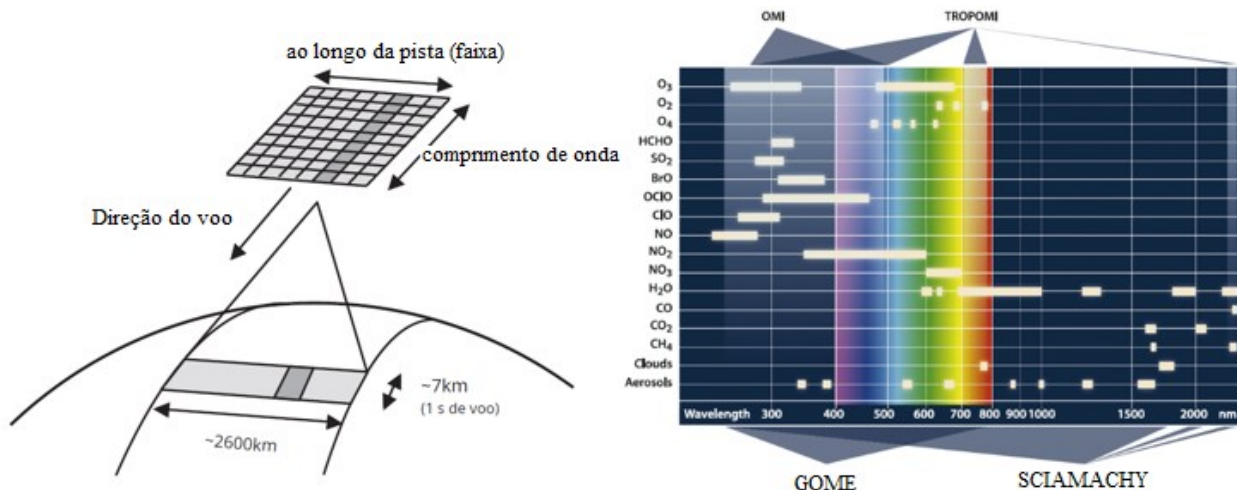
Elaboração: Os autores (2022).

2.2 Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Considerado poluente secundário, o NO₂ é formado na própria atmosfera a partir de reações de óxido nítrico com ozônio ou com compostos formados em reações fotoquímicas (SOUZA et al., 2017). A distribuição espacial e temporal de NO₂ na troposfera varia fortemente, com uma vida útil de horas a dias e espalhamento não homogêneo das fontes de emissão (VEEFKIND et al., 2012). A formação do NO₂ ocorre a partir da reação entre o oxigênio reativo na atmosfera e do óxido de nitrogênio (NO) advindo de processo de combustão, como por exemplo, a queima de biomassa em incêndios florestais (JABONSKI, 2017).

O sensor TROPOMI (Figura 2) é um espectrômetro com bandas no ultravioleta (UV), visível (VIS - 270 a 500 nm), infravermelho próximo (NIR - 675 a 775 nm) e infravermelho de ondas curtas (SWIR - 2305 a 2385 nm). As imagens são obtidas por varredura eletrônica (*pushbroom*) e tem resolução espacial de 7km no ponto sub-satélite, a largura da faixa imageada é de 2600 km e o tamanho dos pixels é de 7 por 3,5 km² próximo ao nadir para quase todas as bandas espectrais. O TROPOMI permite analisar o comportamento dos principais gases atmosféricos, incluindo além do dióxido de nitrogênio (NO₂) gases como: ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), metano (CH₄), formaldeído (CH₂O) (VEEFKIND et al., 2012).

Figura 2 – Sistema de varredura do Sentinel-5P e os princípios de medição dos instrumentos TROPOMI, OMI, SCIAMACHY e GOME.



Elaboração: Adaptado de Veeffkind et al. (2012).

Nesse estudo foram coletados dados de densidade da coluna troposférica de NO₂ com resolução espacial de 11.132 metros. Esses dados foram disponibilizados pela Agência Espacial Europeia (ESA) no banco de dados integrado ao *Google Earth Engine* (GEE). O satélite no qual se encontra o sensor TROPOMI, o Sentinel-5P, é parte do programa de observação da Terra chamado Copernicus, gerido pela ESA que desenvolve a constelação de satélites Sentinels. A densidade da coluna troposférica é uma unidade de medida que se refere à quantidade total de um material suspenso na atmosfera por unidade de área, medido ao longo do comprimento da coluna de ar. As imagens foram filtradas para as três zonas urbanas de interesse somadas aos *buffers* de quinze quilômetros. Dessa forma foram reunidas três coleções de imagens que abrangem o período de 1 de janeiro de 2019 a 31 de dezembro de 2021 e contém 15.509 cenas.

2.3 Precipitação

Reunimos dados de precipitação estimados a partir de observações realizadas por satélites ambientais, que se encontram na base de dados do GEE, provenientes da rede internacional de satélites Global Precipitation Measurement (GPM), versão 6/valores dados em mm/h. GPM é uma missão internacional de satélite que fornece dados de pluviosidade e neve, em escala global, a cada três horas. Para isso utiliza algoritmo unificado (*Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM – IMERG*) que faz a combinação de estimativas de precipitação, imagens de radar e informações de medições de estações pluviométricas *in situ*. O algoritmo também tem por objetivo calibrar, fundir e interpolar os dados da constelação a estimativas de infravermelho calibradas por

microondas e dados de estações de medição *in situ* (HUFFMAN et al., 2019).

A coleção de imagens foi filtrada para o mesmo período dos dados de densidade dos gases e para as áreas de estudo do trabalho, resultando em uma coleção composta por 52.604 imagens com resolução espacial de 11.132 metros para cada uma das áreas urbanas. O processamento foi feito utilizando a banda de dados calibrados (*precipitationCal: snapshot precipitation – calibrated*). Os dados de precipitação foram utilizados como forma de controle dos resultados, pois as mudanças interanuais na pluviosidade podem interferir tanto com a presença de nuvens quanto pelo fato de que após eventos de precipitação a concentração dos gases poluentes na atmosfera pode ficar alterada. Liu e Johnson (2002) afirmaram que as variáveis climatológicas possuem correlação com índices de poluição do ar, visto que na precipitação ocorre a dispersão e diluição dos poluentes, contribuindo para a redução da concentração dos mesmos.

2.4 Índice de Isolamento Social

O índice de isolamento social (*stringency index*) quantifica a rigidez do isolamento social imposto por políticas que restringem a circulação. É calculado a partir de indicadores de contenção, fechamento e informação pública resultante de políticas de enfrentamento à COVID-19. Para isso, as medidas decretadas são ranqueadas em uma escala numérica de acordo com o nível de rigidez da política e normalizados de 0 a 100 (PETHERICK et al., 2020). Dessa forma, quanto mais alto o índice, maior a rigidez das políticas adotadas pelo governo da área analisada e menor liberdade de circulação é conferida à população pelas medidas sanitárias impostas pelo governo. Contudo, o índice não quantifica o nível de adesão da população às iniciativas governamentais, mas tem como vantagem atribuir uma quantificação do quão restritivas foram as normas e decretos de isolamento social de uma maneira direta, que de outra forma demandaria dos autores um esforço de compilação e desenvolvimento de método para definir períodos de maior isolamento social. O índice é uma excelente alternativa pois define a partir de critérios claros, disponíveis em banco de dados públicos, uma medida que pode ser usada para os fins propostos no presente estudo.

Para este estudo foram utilizados os índices originados de dados das políticas emitidas pelo estado de Goiás e Distrito Federal. Os dados de índice de isolamento têm início em 01/01/2020 e término em 31/12/2021. Esse índice integra o projeto *Oxford Covid-19 Government Response Tracker (OxCGRT)*, de coleta de dados referente às respostas governamentais à COVID-19, codificadas em indicadores, promovidas por mais de 180 países, entre eles o Brasil.

2.5 Processamento dos dados

O processamento e a análise dos dados foram feitos utilizando o ambiente *Google Colab* e linguagem de programação *Python* associados ao GEE. O *Google Colab* permite acesso remoto à base de dados do GEE e a outras ferramentas para realizar processamento por programação em nuvem, em um ambiente organizado em *notebooks*. O GEE também é uma plataforma baseada em nuvem que tem por objetivo facilitar o monitoramento e o gerenciamento do meio ambiente. Dá ao usuário acesso a um banco de dados geoespaciais gratuitos, que permite a manipulação de dados de grande escala e longas séries temporais. Os dados de NO₂ e precipitação foram obtidos do banco de dados do GEE para os anos de 2019 a 2021. Esse período foi escolhido por incluir um ano anterior ao início da pandemia, 2019, enquanto os dois anos seguintes já se inserem no contexto da crise sanitária e consequentes restrições de circulação, cujos efeitos sobre a emissão de gases poluidores pretendemos analisar nesse trabalho. Não foram incluídos dados de anos anteriores pela limitação do sensor, que foi colocado em operação apenas no segundo semestre de 2018. Os dados de isolamento social provêm do banco de dados do OxGRT (PETHERICK et al., 2020) e incluem apenas os anos de pandemia, 2020 e 2021.

A partir dos produtos de NO₂ e de precipitação calculamos as médias dos valores dentro dos três polígonos que delimitam as áreas de estudo para cada uma das imagens das coleções. Em seguida, produzimos médias móveis semanais (sete dias) das densidades das colunas de NO₂ e da precipitação (mm/h) para cada área urbana. Por fim, com objetivo de simplificar comparações, delimitamos seis períodos de dois meses e calculamos a razão da média móvel entre os anos 2020/2019 e 2021/2019 em cada período (em %). Esse

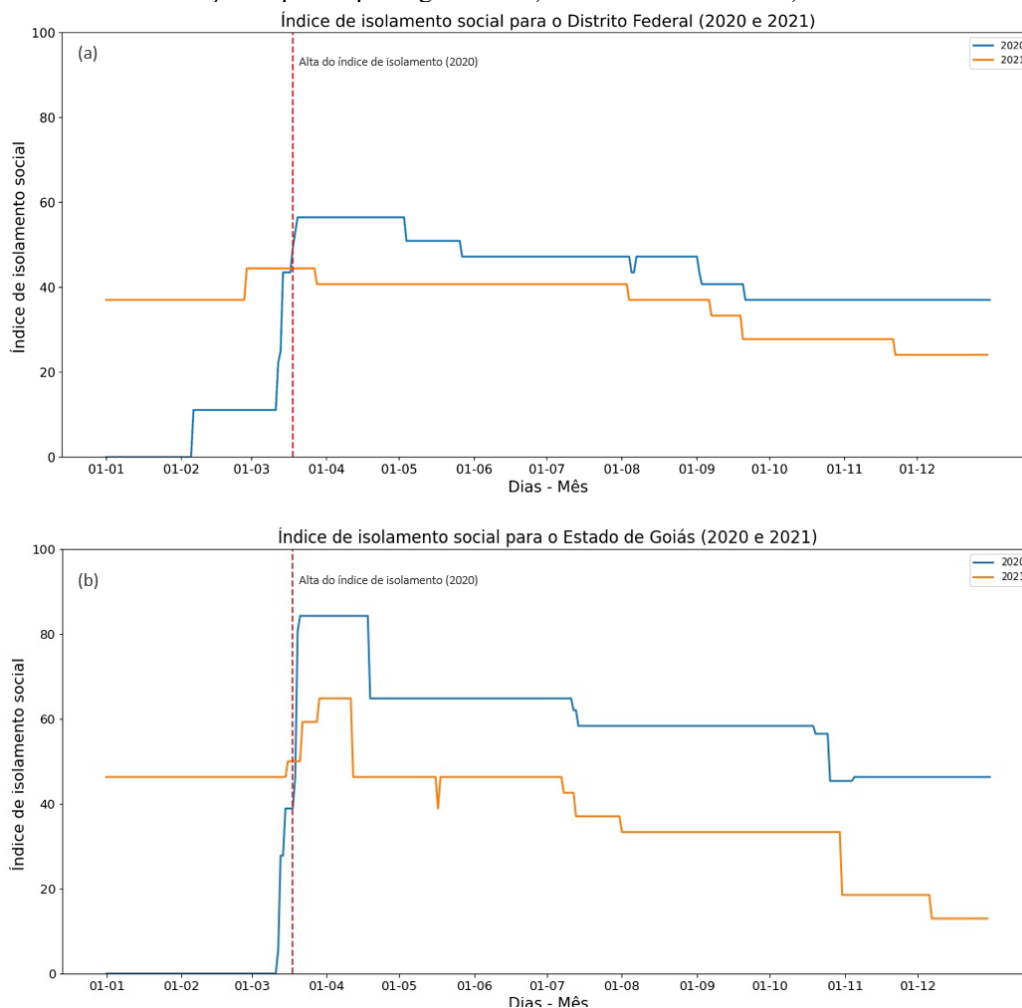
intervalo, contudo, foi ajustado apenas nos dois primeiros períodos considerados para se adaptar à data de início da alta do índice de isolamento. Dessa forma foi possível avaliar a relação dos resultados entre os três anos em cada região e investigar se houve aumento ou diminuição das concentrações de poluentes durante o momento de isolamento social devido à pandemia da COVID-19 se comparado à 2019.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Índice de Isolamento

A análise da distribuição temporal do índice de isolamento social ao longo dos anos de 2020 e 2021 permite verificar aumento rápido e acentuado em 2020, que se inicia com os primeiros decretos emitidos na metade do mês de março. Antes do fim do mês, o índice atinge seu ápice para toda a série histórica e segue tendência de queda a partir de então (Figura 3). Nota-se também que os maiores valores são obtidos para o estado de Goiás, onde o governo do estado emitiu decretos mais restritivos se comparado com o Distrito Federal durante quase todos os períodos, com exceção aos meses finais de 2021, quando as medidas foram revogadas em Goiás antes do Distrito Federal (Figura 3). A fim de uniformizar o início do isolamento, tomamos para todas as três áreas de estudo a mesma data de início (19/03/2020), identificando o momento em que houve grande restrição à circulação determinada pelo governo dos estados. Essa data foi identificada nos gráficos de análises posteriores.

Figura 3 – Índice de isolamento social, com base em Petherick et al. (2020), referente às medidas de restrição de circulação impostas pelos governos a) do Distrito Federal e b) de Goiás.



Elaboração: Modificado de Petherick et al. (2020).

3.2 Precipitação

Com relação à análise da precipitação, chama atenção o fato de que a média anual (Tabela 1) tem seu menor valor, em todas as três cidades, no ano de 2019 enquanto o ano de maior precipitação é 2020 (alta de +15,7% em Brasília, +17,0% em Anápolis e +24,8% em Goiânia em relação a 2019). Exceto Anápolis, onde a precipitação média foi ainda maior no ano de 2021 (alta de +11,2% em Brasília, +25,2% em Anápolis e +18,6% em Goiânia com relação a 2019). Esse fato é uma primeira indicação de que, apesar de ser o ano em que o *lockdown* foi mais intenso principalmente entre março e novembro, a precipitação maior pode influir nos resultados e aumentar artificialmente a redução de gases. Isso porque a precipitação total pode influenciar a concentração de poluição atmosférica (KOVÁCS; HAIDU, 2021), sendo eventos de precipitação associados a concentrações menores de NO₂ (KIM et al., 2014).

Tabela 1 – Precipitação média anual calculada com dados de imagens da rede de satélite GPM entre os anos de 2019 e 2020 para zonas urbanas de Brasília, Anápolis e Goiânia.

Precipitação média anual (mm/h)	2019	2020	2021
Brasília	0,1448	0,1676	0,1610
Anápolis	0,1424	0,1666	0,1783
Goiânia	0,1357	0,1694	0,1609

Elaboração: Os autores (2022).

Contudo, ao se analisar o gráfico com as médias semanais na região de Brasília e entorno (Figura 4a) no período entre a alta do índice de isolamento e o período de seca, é possível perceber que a precipitação é maior em 2020 do que em 2019 apenas nas duas primeiras semanas, tornando-se consideravelmente menor nas duas semanas seguintes, assumindo valores relativamente similares a partir de então. Já em 2021, com relação a 2019, a precipitação a partir do início do ano é mais alta apenas entre a metade de janeiro e a metade de fevereiro. A partir daí se torna, de maneira geral, mais baixa em 2021 do que em 2019. No segundo semestre, após a seca e com a retomada das chuvas, a pluviosidade é similar entre 2019/2020, apenas com dois picos importantes nos meses de outubro e dezembro, ambos com uma semana de chuvas mais intensas em 2020.

Em Anápolis (Figura 4b), a precipitação em 2020 até o mês de maio é, no geral, mais alta do que em 2019, com picos de muita pluviosidade em 2020 ocorrendo com frequência, sendo que há apenas três semanas com quantidade de chuva consideravelmente mais baixa em 2020. Na comparação entre 2019 e 2021, este último tem precipitação semelhante à de 2019 até o meio de março e após, torna-se sistematicamente mais baixa. No segundo semestre, entretanto, o padrão das precipitações de 2019 e 2020 são semelhantes, enquanto até a metade de novembro choveu consideravelmente mais em 2021.

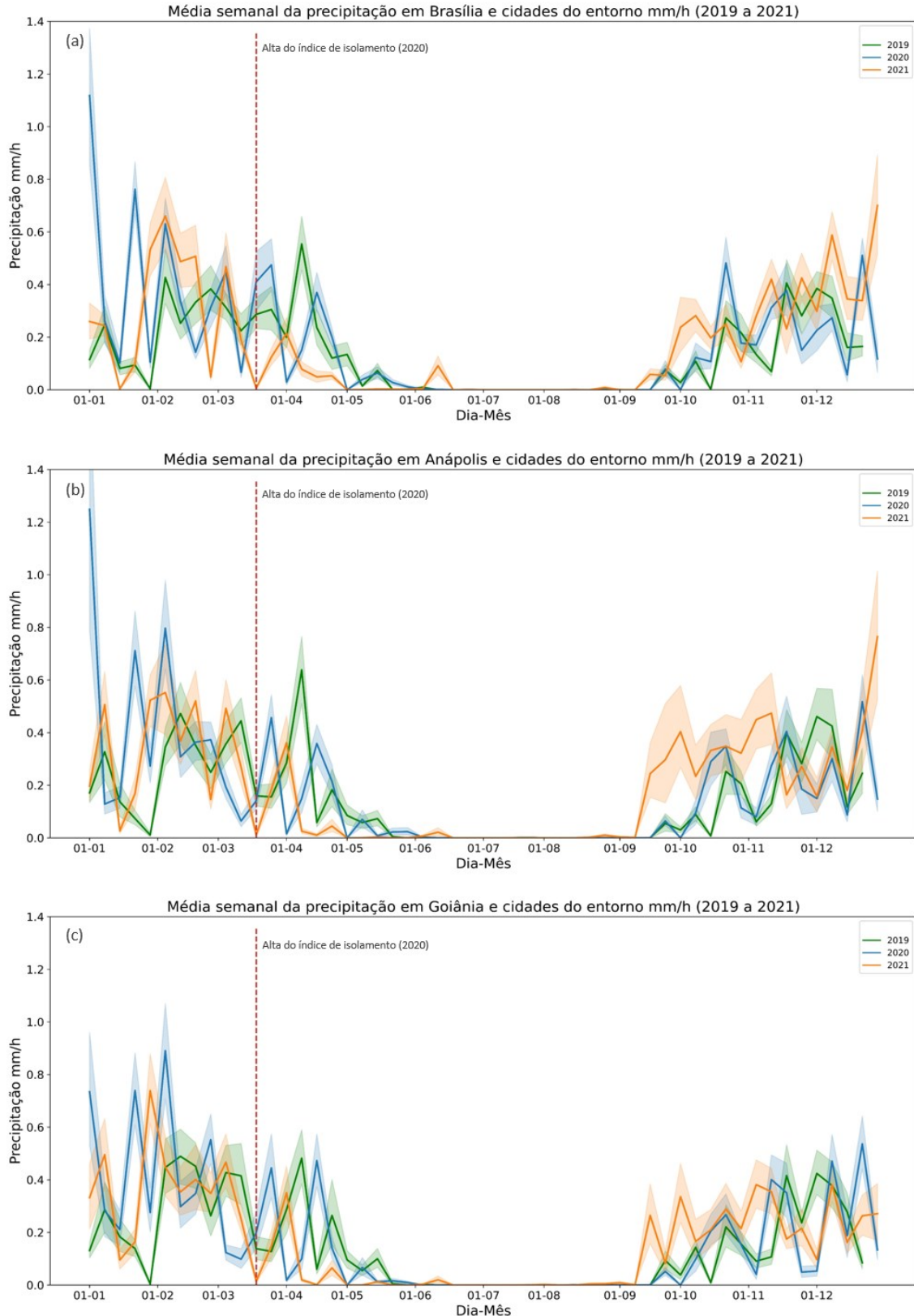
O padrão entre os anos de 2019/2020 em Goiânia no primeiro semestre mostra valores maiores no ano de 2020, com semanas de baixa para esse ano apenas no início de março e no início de abril (Figura 4c). Já os anos 2019/2021 têm padrão parecido no segundo semestre, com picos de chuva importantes no começo de janeiro e de fevereiro de 2021 e queda da precipitação a partir do meio de abril. No segundo semestre, até o mês de novembro aproximadamente, há maior precipitação no ano de 2021 enquanto os anos de 2019 e 2020 apresentam precipitação semelhante.

Dessa forma é possível concluir que apesar das médias anuais 2020/2021 terem sido maiores do que no ano de 2019, em 2020 esse aumento se deve principalmente a um período de pluviosidade abundante antes do início dos meses de confinamento. Embora picos de grande diferença da quantidade de chuva tenham acontecido em semanas pontuais nos meses seguintes, o padrão de chuva é no geral semelhante (Figura 4). No ano de 2021, em comparação a 2019, há diferença de precipitação após o período de seca (a partir de setembro até outubro/novembro) por conta de mais alta pluviosidade em 2021 do que em 2019. Enquanto no primeiro semestre, antes da seca, a precipitação de 2021 é semelhante a pouco maior que a de 2019 até o mês de abril, quando se torna consistentemente menor (Figura 4).

Desse modo, entre abril e maio a precipitação pode fazer com que aparentemente haja maior quantidade de gases poluentes emitidos e no resto dos meses pode haver menor quantidade de emissão detectada pelo sensor do que na realidade. Isso indica que os resultados devem ser tratados com cautela. Seriam pertinentes estudos futuros nos quais fatores meteorológicos sejam eliminados por meio de uma análise de homogeneidade usando, por exemplo, teste estatístico qui-quadrado, considerando vários aspectos como

temperatura, precipitação, umidade do ar, pressão atmosférica ao nível do mar, pressão atmosférica no nível de superfície, velocidade do vento, radiação solar, entre outros, em abordagem semelhante à adotada por Kóvac e Haidu, 2021. Esse tipo de controle poderia melhorar a qualidade dos resultados e garantir maior consistência das análises, além de evitar interferência das condições climáticas nas interpretações realizadas.

Figura 4 – Variação da precipitação entre os anos de 2019 e 2021, utilizando médias semanais (sete dias) obtidas a partir do processamento de produtos da rede de satélites GPM para as áreas urbanas de a) Brasília, b) Anápolis e c) Goiânia.

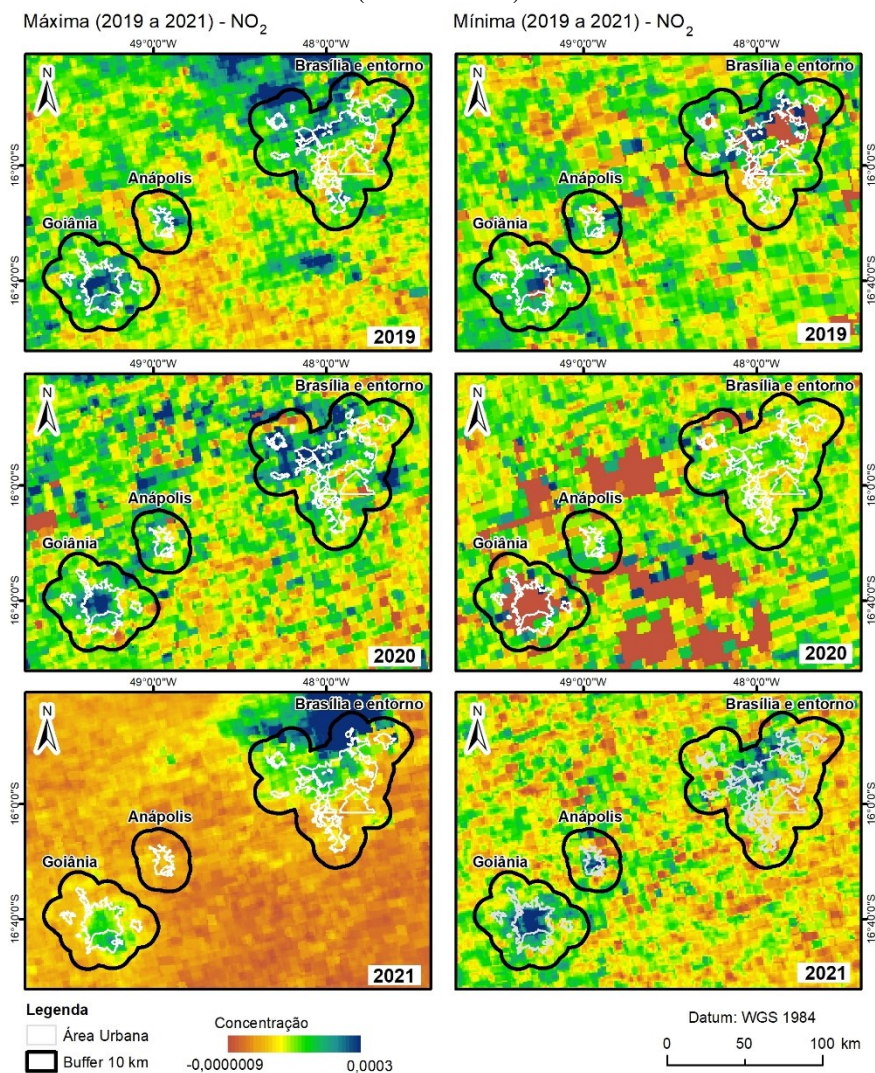


Elaboração: Os autores (2022).

3.3 Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

As três cidades integrantes da área de estudo apresentam organização e constituição heterogêneas de suas zonas urbanas e tamanhos distintos, o que faz com que a distribuição espacial das colunas mais densas de NO₂ seja distinta entre elas. Um mapa da distribuição espacial dos valores de NO₂ em momentos de valores máximos e mínimos detectados para cada um dos anos analisados é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Distribuição espacial dos valores de NO₂ em momentos de valores máximos (20/09 a 27/09) e mínimos (12/04 a 19/04).



Elaboração: Os autores (2022).

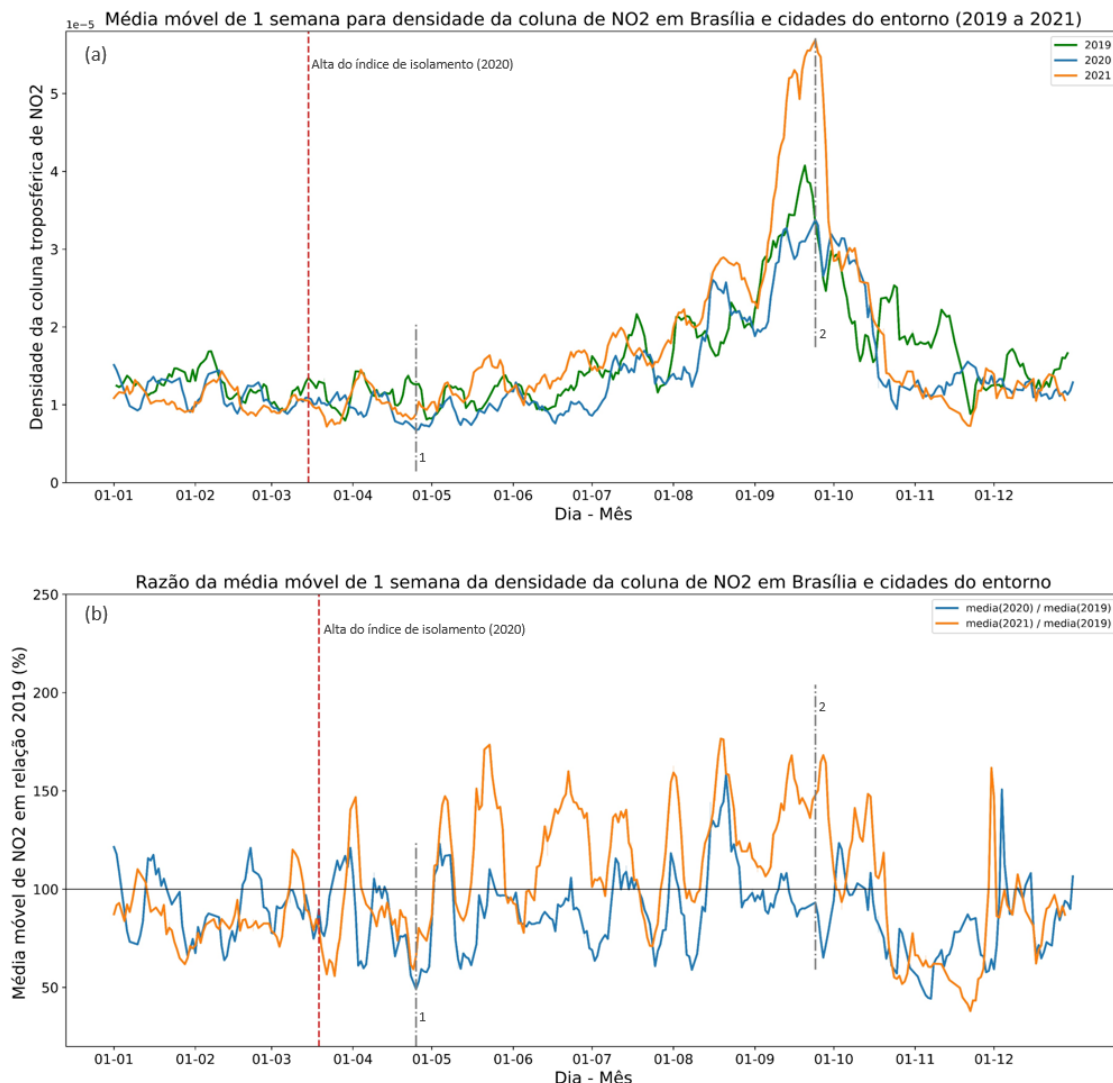
Um mosaico para os valores médios de uma semana (12/04 a 19/04) no período de mínima e máxima (20/09 a 27/09) foi definido a partir das datas de máximo e mínimo da média móvel na região de Brasília. Enquanto em Anápolis e Goiânia os maiores valores de NO₂, tanto em períodos de mínima quanto máxima, se concentram no centro das zonas urbanas, em Brasília tenderam a ficar um pouco deslocados a norte da zona urbana no período de mínima. Nos períodos de máxima em Brasília, os maiores valores tendem a ser observados ainda mais ao norte, por vezes fora da zona urbana delimitada. Isso pode ser um indicativo de que, em Brasília, os valores extremos mais altos têm influência de queimadas que ocorrem fora da área urbana e não estão diretamente ligados à atividade industrial ou circulação de automóveis. Todavia, é interessante notar que há um padrão temporal semelhante em todas as regiões urbanas estudadas, ou seja, nos meses de março e abril a densidade da coluna de NO₂ tem seus valores mais baixos; setembro e outubro são marcados por valores anormalmente altos de NO₂ detectados em todas as zonas urbanas. Isso possivelmente se deve ao fato de a alta acontecer no fim do período de seca, momento em que a vegetação do cerrado está mais propensa a

queimadas, deixando o valor de *background* mais alto (Figuras 4, 6a, 7a e 8a). Por outro lado, os meses de mínima ocorrem no fim do período de chuvas, quando praticamente não há ocorrência de queimadas.

3.3.1 BRASÍLIA E ENTORNO

Em Brasília e entorno, entre 19 de março e 01 de outubro de 2020, houve queda de NO₂ média de -9,35%, enquanto em 2021 ocorreu aumento de +16,08% na média móvel (sete dias) para o mesmo período (Figura 6). Ou seja, apesar da queda das emissões em 2020, no ano seguinte não só houve volta ao patamar anterior de emissão de NO₂ como também aumento, como pode ser visto também no gráfico da Figura 6a.

Figura 6 – Valores de densidade da coluna de NO₂ para a zona urbana de Brasília e entorno. Em ambos os gráficos a linha tracejada vermelha representa o dia considerado como início do período de confinamento (19 de março de 2020), marcado pela alta do índice de confinamento. As linhas tracejadas em cinza marcam o início das semanas de mínima (1) e máxima (2) utilizadas para geração da Figura 5. a) Média móvel de sete dias calculada para os anos de 2019 a 2021. b) Percentagem da densidade da coluna de NO₂ nos anos de 2020 e 2021 em relação ao ano de 2019. Valores maiores que 100% representam alta em relação a 2019 e valores menores que 100% demonstram baixa em relação a 2019.



Elaboração: Os autores (2022).

Ao se subdividir esse período (tabela 2) a cada dois meses, alterando apenas os dois períodos iniciais para acomodar a data de início do *lockdown*, observa-se, em média, uma tendência generalizada de queda nos níveis de NO₂ desde a primeira grande alta do índice de isolamento em Brasília em março de 2020 até maio de 2021, se comparado a 2019. A diferença entre a média móvel da densidade da coluna de NO₂ chegou a quase 50% nos primeiros meses de *lockdown*, ainda em 2020. Uma queda muito acentuada da densidade no fim de 2020, a partir de outubro aproximadamente (Figura 5), culminou com o valor mais baixo, em média, entre novembro e dezembro para o ano 2020. Esses valores possivelmente estão ligados à volta do período de

chuvas e à segunda onda de COVID-19 (MACHADO; SCHIWINGEL, 2020) que ocorreu nesse período, apesar das medidas de isolamento impostas pelo governo não terem aumentado em rigidez. Em 2021, após a diminuição da segunda onda e o fim do período de chuvas, a densidade da coluna novamente aumentou, tendo nova queda apenas no fim de 2021, momento em que novamente houve a onda de casos decorrentes da variante Ômicron (NETO, 2022), associado a um novo período de chuvas.

Tabela 2 – Tabela dados referentes a aumento e diminuição percentual da média móvel (sete dias) da densidade da coluna de NO₂ para os anos de 2020 e 2021 com base no ano de 2019 na zona urbana de Brasília e entorno.

Brasília - NO₂	2020	2021
01/01 - 19/03	-	-14,68%
19/03 - 01/05	-18,08%	-16,09%
01/05 - 01/07	-11,97%	+20,95%
01/07 - 01/09	-2,37%	+15,67%
01/09 - 01/11	-9,16%	+19,44%
01/11 - 31/12	-22,38%	-23,95%

Elaboração: Os autores (2022).

3.3.2 ANÁPOLIS E ENTORNO

Para a região de Anápolis, ao se considerar o período entre 19 de março e 01 de outubro, momento em que as restrições de circulação no DF e GO estavam mais altas (Figura 3a), no ano de 2020 houve, em média, queda de -1,34%, bem menor do que o observado para Brasília. Um aumento de +19,30% na média móvel (sete dias) foi observado para o mesmo período em 2021. Também é possível observar nas Figuras 6 e 7, que os valores máximos da média móvel da coluna de NO₂ são menores em Anápolis, por se tratar de um centro urbano menor. Além disso, os valores para os anos de 2019, 2020 e 2021 são mais homogêneos do que em Brasília e entorno, indicando que houve variações menores em Anápolis (Figuras 6 e 7).

A análise dos subperíodos de dois meses em Anápolis (Tabela 3) mostra tendência de queda, ainda que leve, da média móvel para a maior parte do ano de 2020, menos entre os meses de julho e setembro, quando houve uma leve alta devido a um pico de detecção na segunda metade do mês de agosto. A queda mais importante das emissões ocorreu no final de 2020 e início de 2021, apesar de nesses meses não ter havido aumento do índice de isolamento com relação aos períodos anteriores. Durante 2021, a média de dois meses da densidade da média móvel coluna de NO₂ foi pelo menos +15% maior durante quase todos os períodos, exceto o primeiro e o último períodos analisados.

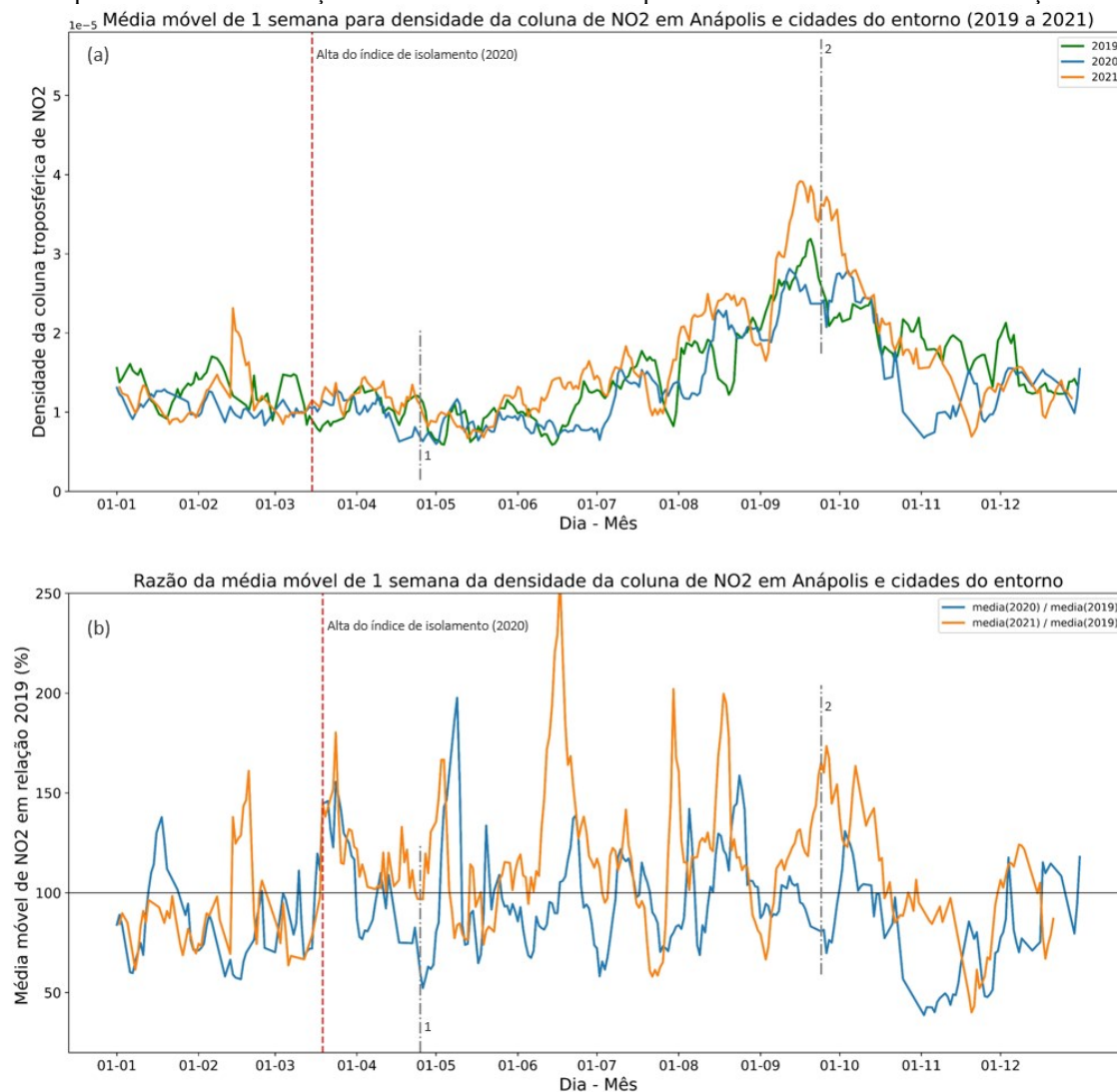
Algumas possibilidades de explicação são: 1) nesse momento a cidade enfrentava uma segunda onda de casos de COVID-19 no final de 2020/início de 2021 (BOAVENTURA, 2021) e uma onda de casos da variante Ômicron no final de 2021 (TOMAZETI, 2022). Apesar da diminuição das políticas de restrição de locomoção, a população novamente adotou maior distanciamento social; 2) a retomada do período de chuvas ter interferido nas medições e 3) a emissão de NO₂ em 2019 ter sido excepcionalmente alta e a indisponibilidade de uma série temporal maior limita essa avaliação.

Tabela 3 – Tabela dados referentes a aumento e diminuição percentual da média móvel (7 dias) da densidade da coluna de NO₂ para os anos de 2020 e 2021 com base no ano de 2019 na zona urbana de Anápolis e entorno.

Anápolis - NO₂	2020	2021
01/01 - 19/03	-	-9,49%
19/03 - 01/05	-3,45%	+17,29%
01/05 - 01/07	-0,72%	+26,99%
01/07 - 01/09	+1,28%	+15,67%
01/09 - 01/11	-3,95%	+19,90%
01/11 - 31/12	-29,89%	-15,08%

Elaboração: Os autores (2022).

Figura 7 – Valores de densidade da coluna de NO₂ para a zona urbana de Anápolis. Em ambos os gráficos a linha tracejada vermelha representa o dia considerado como início do período de confinamento (19 de março de 2020), marcado pela alta do índice de confinamento. As linhas tracejadas em cinza marcam o início das semanas de mínima (1) e máxima (2) utilizadas para geração da Figura 5. a) Média móvel de sete dias calculada para os anos de 2019 a 2021. b) Percentagem da densidade da coluna de NO₂ nos anos de 2020 e 2021 em relação ao ano de 2019. Valores maiores que 100% representam alta em relação a 2019 e valores menores que 100% demonstram baixa em relação a 2019.



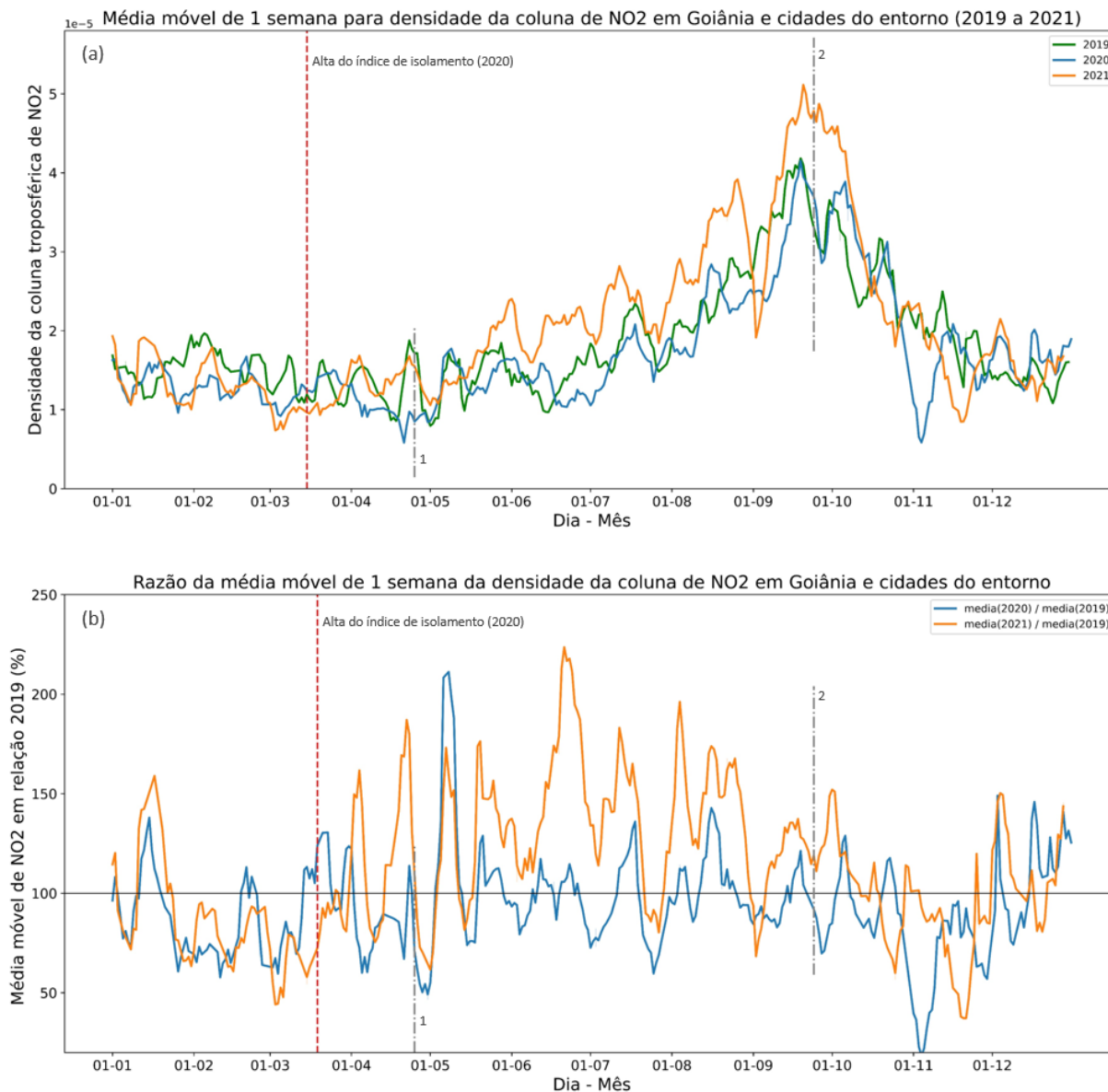
Elaboração: Os autores (2022).

3.3.3 GOIÂNIA E ENTORNO

Em Goiânia e cidades conurbadas, durante o período de 19 de março e 01 de outubro de 2020, verificou-se queda de -2,61% em média no valor da média móvel de sete dias em relação a 2019. Subsequentemente, houve a maior alta entre todas as cidades analisadas para esse mesmo período em 2021: +30,3%. Na comparação dos dados de Brasília, Goiânia e Anápolis, verifica-se que a maior redução nesse período ocorreu em Brasília no ano de 2020. Isso se deu a despeito do fato de que o índice de isolamento social foi maior em Goiás que no Distrito Federal para o mesmo período, indicando maior aderência da população ao confinamento na capital federal.

Anápolis, que teve a menor queda do período, funciona como ponto de distribuição de cargas rodoviárias, atividade com pouco declínio durante o confinamento por ser responsável em manter o abastecimento de cidades e o escoamento de produções agrícolas (IMB, 2022). Logo, o tráfego de veículos pesados pode ser um fator de contribuição para a baixa redução da densidade da coluna de NO₂ no período. Porém, o grau de influência do tráfego de veículos pesados e a pouca redução dos níveis de NO₂ não foram mensurados. Foi possível observar que os valores da média móvel são maiores em 2021, com destaque no mês de maio, enquanto os valores em 2019 e 2020 são muito similares no período (Figura 8).

Figura 8 – Valores de densidade da coluna de NO₂ para a zona urbana de Goiânia. Em ambos os gráficos a linha tracejada vermelha representa o dia considerado como início do período de confinamento (19 de março de 2020), marcado pela alta do índice de confinamento. As linhas tracejadas em cinza marcam o início das semanas de mínima (1) e máxima (2) utilizadas para geração da Figura 5. a) Média móvel de sete dias calculada para os anos de 2019 a 2021. b) Percentagem da densidade da coluna de NO₂ nos anos de 2020 e 2021 em relação ao ano de 2019. Valores maiores que 100% representam alta em relação a 2019 e valores menores que 100% demonstram baixa em relação a 2019.



Elaboração: Os autores (2022).

Consistentemente com o observado em Anápolis e Brasília, o período inicial analisado, quando do aumento do índice de isolamento, mostra também em Goiânia uma queda importante na média do período em relação a 2020, contudo essa queda não se sustenta no período seguinte, em que se observa uma alta. Ainda assim os níveis médios de NO₂ voltam a ter leve baixa nos dois períodos que compreendem os meses entre julho e outubro. Também de maneira consistente com o observado nas outras zonas urbanas, o período final de 2020 e 2021, assim como o período inicial de 2021 apresentam quedas significativas, apesar desta última não ser tão grande em Goiânia quanto nas outras duas regiões e podem ter relação com a segunda onda de COVID-19 que ocorreu no fim 2020/início de 2021 (PREFEITURA DE GOIÂNIA, 2021) e com os casos de Ômicron no fim de 2021 (TOMAZETI, 2022), além de ter uma possível influência climática.

Tabela 4 – Tabela dados referentes a aumento e diminuição percentual da média móvel (sete dias) da densidade da coluna de NO₂ para os anos de 2020 e 2021 com base no ano de 2019 na zona urbana de Goiânia e entorno.

Goiânia - NO ₂	2020	2021
01/01 - 19/03	-	-16,39%
19/03 - 01/05	-14,03%	+9,32%
01/05 - 01/07	+4,87%	+40,08%
01/07 - 01/09	-1,32%	+40,03%
01/09 - 01/11	-5,96%	+9,25%
01/11 - 31/12	-14,22%	-4,25%

Elaboração: Os autores.

Se comparados aos resultados observados em São Paulo (NAKADA; URBAN, 2020), onde foi observada uma queda de até -77,3% de NO₂, as quedas dos níveis de NO₂ nas áreas de estudo para um período similar são menos acentuadas, sendo de -18,8% em Brasília, -3,45% em Anápolis e -14% em Goiânia. Se comparado aos resultados de NO₂ na região Nordeste (-4,49%) durante o período de maior isolamento social (AZEVEDO et al., 2021), as quedas em Brasília e Goiânia foram maiores, mas Anápolis teve reduções menores, embora próximas, às observadas no nordeste brasileiro.

4 CONCLUSÃO

É possível concluir deste estudo que houve algum grau de redução da emissão de NO₂ no ano de 2020 em todas as três cidades estudadas. Contudo logo em seguida, no ano de 2021, houve forte alta das emissões se comparado a 2019 em todas elas, fruto da retomada das atividades econômicas, apesar dos índices de isolamento resultantes das políticas de restrição de circulação dos governos do Distrito Federal e de Goiás terem diminuído apenas no fim de 2021.

Para todo o período, a média geral de quedas para cada região foi de -9,35% em Brasília, -2,61% em Goiânia e -1,34% em Anápolis. A média geral de altas foi de +30,3% em Goiânia, +19,30% Anápolis e +16,08% em Brasília.

Dentre as três zonas urbanas, a que apresentou menores reduções foi a cidade de Anápolis, com apenas -3,45% de queda entre 19/03/2020 e 01/05/2020 em relação ao mesmo período de 2019. Isso provavelmente se deu pelo fato de Anápolis constituir um grande centro de armazenamento e distribuição de mercadorias no Brasil, atividade que não sofreu restrição a fim de manter o abastecimento nacional.

Apesar de maior do que na cidade de Anápolis, a queda da média móvel da densidade da coluna de NO₂ em Goiânia entre 9/03/2020 e 01/05/2020, de -14,03%, não se sustentou ao longo do ano de 2020, apresentando em seguida aumento ou quedas menores que 6% dos níveis de NO₂ em relação a 2019.

A cidade com maior diminuição da média no período de confinamento mais intenso foi Brasília, com queda de -18,08%. A cidade apresentou maior aderência às medidas restritivas dentre as três, tendo mantido uma relação de queda dos níveis de NO₂ durante todo o ano de 2020, apesar da ocorrência de algumas variações.

Em todas as regiões analisadas, a influência do clima é determinante nas concentrações e capacidade de detecção do sensor, exercendo grande influência nos resultados. Períodos de muita chuva parecem reduzir a capacidade de detecção dos gases, enquanto altos valores estão associados ao período seco, em que há possível influência de queimadas que ocorrem na região.

Agradecimentos

Os autores agradem ao programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica da Universidade de Brasília e especialmente ao Professor Gustavo Baptista por incentivar e orientar a escrita deste artigo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, processo nº 88887.597344/2021-00 do Programa DS.

Contribuição dos Autores

A primeira autora (Larissa Vieira Valadão) foi responsável pela Conceptualização, Curadoria dos dados, Análise formal, Visualização, Redação -minuta inicial, Redação -revisão e edição. O segundo autor (André Silva Tavares) foi responsável pela Conceptualização, Curadoria dos dados, Redação -minuta inicial, Redação -revisão e edição. A terceira autora (Catarina Balduino Sollaci) foi responsável pela Conceptualização, Visualização, Redação -minuta inicial, Redação -revisão e edição. O quarto autor (Christian Santana Cunha) foi responsável pela Análise formal. O quinto autor (Fortunato Bernardo Zau Mpongo) foi responsável pela Redação -revisão e edição. O sexto autor (Gustavo Macedo de Mello Baptista) foi responsável pela Supervisão, Redação -revisão e edição.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

- AZEVEDO, L. S.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES, J. R. Analysis of changes in air pollution and its relationship with social isolation due to the COVID-19 pandemic in Brazilian Northeast. **Sociedade & Natureza**, v. 33, e59412, 2021. DOI. [10.14393/SN-v33-2021-59412](https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-59412).
- BALDASANO, J.M. 2020. COVID-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain). **Science of Total Environment**, p 741:140353, 2020. DOI. [10.1016/j.scitotenv.2020.140353](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140353).
- BOAVENTURA, D. M. R. Segunda onda da Covid está arrefecendo em Anápolis, mas o registro de mortes não para. **Portal 6**. 12 abr 2021
- CHEN, T.M.; KUSCHNER, W.G.; GOKHALE, J.; SHOFER, S. Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. **The American Journal of the Medical Sciences**, v. 333, n. 4, p. 249–256, 2007. DOI. [10.1097/MAJ.0b013e31803b900f](https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e31803b900f). PMID: 17435420.
- CHEN, K.; WANG, M.; HUANG, C.; KINNEY, P. L.; ANASTAS, P. T. Air pollution reduction and mortality benefit during the COVID-19 outbreak in China. **The Lancet Planetary Health**, v. 4, n. 6, p 210–212. 2020. DOI. [10.1016/S2542-5196\(20\)30107-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30107-8).
- DISTRITO FEDERAL, Decreto nº 40.520, 14 de março de 2020, **Diário Oficial do Distrito Federal**, Brasília, Distrito Federal, nº 28, Edição Extra, p.1, col.2, 2020.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Air pollution returning to pre-COVID levels**. 2021. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_returning_to_pre-COVID_levels. Acesso em: 26 fev. 2022.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Earth online: What is Sentinel-5P?** Disponível em: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-eo-missions/sentinel-5p>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- GAUTAM, S.; HENS, L. SARS-CoV-2 pandemic in India: what might we expect? **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, n. 5, p. 3867-3869, 2020. DOI. [10.1007/s10668-020-00739-5](https://doi.org/10.1007/s10668-020-00739-5).
- GOIÁS, Decreto nº 9.634, 13 de março de 2020, **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, Goiás, nº 23.258, Ano 183, 2020.
- HASHIM, B. M.; AL-NASERI, S. K.; AL-MALIKI, A.; AL-ANSARI, N. Impact of COVID-19 lockdown on NO₂, O₃, PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and assessing air quality changes in Baghdad, Iraq. **Science of The Total Environment**, v. 754, p. 141978, 2021. DOI. [10.1016/j.scitotenv.2020.141978](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141978)
- HORMANN, S.; JAMMOUL, F.; KUENZER, T.; STADLOBER, E. Separating the impact of gradual lockdown measures on air pollutants from seasonal variability. **Atmospheric Pollution Research**, v. 12, p. 84–92, 2021. DOI. [10.1016/j.apr.2020.10.011](https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.10.011)

- HUFFMAN, G.J.; STOCKER, E.F.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J.; TAN, J. **GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree**. v. 06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: 10 abr. 2022, DOI. 10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06
- INSTITUTO MAURO BORGES DE ESTATÍSTICA DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (IMB). **Sobre Goiás - Estação Aduaneira - Porto Seco de Anápolis**. Disponível em: https://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=145#sumario Acesso em: 10 abr. 2022.
- JABONSKI, C. D. **Monitoramento de poluentes atmosféricos em aeroportos: a qualidade do ar no Aeroporto Bacacheri**. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- KANNIAH K.D.; KAMARUL Z.N.; KASKAOUTIS D.G.; LATIF M.T. COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. **Science of Total Environment**. n. 736, 2020. DOI. 10.1016/j.scitotenv.2020.139658.
- KIM, S.; HONG, K.H.; JUN, H.; PARK, Y.J.; PARK, M.; SUNWOO, Y. Effect of precipitation on air pollutant concentration in Seoul, Korea. **Asian Journal of Atmospheric Environment**, v. 8, n. 4, p. 202–2011, 2014. DOI. 10.5572/ajae.2014.8.4.202
- KOVÁCS, K. D.; HAIDU, I. Effect of Anti-COVID-19 Measures on Atmospheric Pollutants Correlated with the Economies of Medium-sized Cities in 10 Urban Areas of Grand Est Region, France. **Sustainable Cities and Society**, v. 74, p. 103173, 2021. DOI. 10.1016/j.scs.2021.103173.
- LEE, J.D.; DRYSDALE, W.S.; FINCH, D.P.; WILDE, S.E.; PALMER, P.I. UK surface NO₂ levels dropped by 42 % during the COVID-19 lockdown: impact on surface O₃. **Atmospheric chemistry and physics, Discussions**, n. 1–27. 2020. DOI. [10.5194/acp-2020-838](https://doi.org/10.5194/acp-2020-838).
- LIU, P. G.; JOHNSON, R. Forecasting peak daily ozone levels-I. A regression with time series errors model having a principal component trigger to fit 1991 ozone levels. **Journal of the Air & Waste Management Association**. v. 52, n. 9, p 1064-1074, 2002.
- MACHADO, M.; SCHIWINGEL, S. COVID-19: risco de segunda onda no DF é real e exige compromisso da população. **Correio Braziliense**, n.21, Nov. 2020.
- NAKADA, L. Y. K.; URBAN, R. C. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 730, p. 139087, 2020. DOI. 10.1016/j.scitotenv.2020.139087.
- NETO, C. Variante Ômicron é a predominante no Distrito Federal. **Agência Brasília**. 14 jan. 2022.
- PASSOS, R. G.; COTA, S. D. S.; MENEZES, M. A. B. C.; PALMIERI, H. E. L.; AULER, L. M. L. A. Effect of partial lockdown due to Covid-19 pandemic on PM10 concentration in Belo Horizonte, Brazil. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 58, p. 351-362, 2021. DOI. [10.5380/dma.v58i0.75925](https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.75925)
- PETHERICK, A.; KIRA, B.; BARBERIA, L.; BOBY, T.; GOLDSZMIDT, R.; LUCIANO, M. Brazil's Covid-19 Government Response Policies, **Blavatnik School of Government**, 2020. DOI. <http://bsg.ox.ac.uk/pesquisa-covid19-brasil>
- PREFEITURA DE GOIÂNIA. **Goiânia vive seu pior momento na pandemia**. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/goiania-vive-seu-pior-momento-na-pandemia/> . Goiânia. 26 fev. 2021. Acesso em: 10 abr. 2022.
- SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E HABITAÇÃO - SEDUH. **GeoPortal - DF**. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso em: abr. 2022.
- SISTEMA ESTADUAL DE GEOINGORMAÇÃO - SIEG. **SIEG - downloads**. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso em: abr. 2022.
- SOUZA, P. A. F.; FRANCISCO, K.C.A.; CARDOSO, A.A. Desenvolvimento de Amostrador Passivo Sensível para Monitoramento de Poluição Atmosférica por Dióxido de Nitrogênio. **Química Nova**, v. 40,

n. 10, p. 1233-1237, 2017. DOI. 10.21577/0100-4042.20170117

TOMAZETI, R. Com ômicron, Goiás volta a ter regiões em situação de calamidade. **Diário de Goiás**, n. 21. 2022.

TOSEPU R.; GUNAWAN J.; EFFENDY D. S.; AHMAD O. A. I.; LESTARI H.; BAHAR H.; ASFIAN P. Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. **Science of The Total Environment**, p. 725:138436, 2020. DOI.: 10.1016/j.scitotenv.2020.138436.

VEEFKIND, J.P., ABEN, I., MCMULLAN, K., FÖRSTER, H., VRIES J., OTTER, G., CLAAS, J., ESKES, H.J., HAAN, J.F., KLEIPOOL, Q., VAN WEELE, M., HASEKAMP, O., HOOGEVEEN, R., LANDGRAF, J., SNEL, R., TOL, P., INGMANN, P., VOORS, R., KRUIZINGA, B., VINK, R., VISSER, H., LEVELT, P.F. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. **Remote Sensing of Environment**, 120, 70–83, 2012. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>.

ZHANG, H.; LIN, Y.; WEI, S.; BECKY P.Y. LOO.; B. P.Y. LOO; LAI, P.C.; LAI, P.; Lam, Y. Fat Lam, Y F.; WAN, L.; WAN, L.; LI, Yu.; LI, Y. Global Association Between Satellite-derived Nitrogen Dioxide (NO₂) and Lockdown Policies Under the COVID-19 Pandemic. **The Science of the total environment**, v. 761, p. 144148, 2021. DOI. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144148

Biografia do autor principal



Larissa Vieira Valadão nasceu em Brasília-DF em 1992. É graduada em Geologia, mestre em Geologia Econômica e Prospecção Mineral, especialista em Geoprocessamento Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB). Atualmente é doutoranda no Programa de Geociências Aplicadas e Geodinâmica com área de concentração em Geoprocessamento e Análise Ambiental também pela UnB onde desenvolve pesquisa em análise de reservatórios artificiais de água por meio de processamento de dados de sensoriamento remoto com uso de plataformas baseadas em nuvem. Também auxilia a Equipe de Conservação da Amazônia (ECAM) onde oferece assistência em pesquisa e geoprocessamento.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.