



O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE GASES POLUENTES E FONTES ESTACIONÁRIAS DE POLUIÇÃO DO AR NA CIDADE DE BELÉM-PA

Luis Waldyr Rodrigues Sadeck ¹, Francisco Daniel Mota Lima ², Glauber Guimarães Cirino³

¹ Universidade Federal do Pará, Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Belém - PA, Brasil. E-mail:
luis.sadeck@ufpa.br - <https://orcid.org/0000-0002-2337-8634>

² Universidade Federal do Pará, Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Belém - PA, Brasil. E-mail:
francisco.lima@ifpa.edu.br - <https://orcid.org/0000-0002-8811-4912>

³ Universidade Federal do Pará, Docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Belém - PA, Brasil. E-mail:
glaubercirino@ufpa.br - <https://orcid.org/0000-0003-1105-7603>

RESUMEN. En este trabajo se utilizó la detección remota para cuantificar fuentes estacionarias de contaminación del aire. Además de mapear la densidad de los contaminantes (CO, O₃, NO₂ y SO₂) en el período de 2020 a 2023 en la ciudad de Belém-Pa. La cuantificación de las fuentes de contaminación fue obtenida a través de la técnica de web scraping sobre google maps, recolectando las coordenadas de cada emprendimiento e insertándolas en el software QGIS para generación de los mapas de kernel. La densidad de los contaminantes se calculó sobre la base del número de puntos en un lugar, con mayores números de puntos agrupados resultando en valores mayores. Se ha cuantificado (145) estaciones de servicio, (56) puertos, (1) aeropuerto. Además de fuentes de contaminación relacionadas con las actividades alimentarias: (248) panaderías, (231) pizzerías y (123) Churrascarias (123). Fuentes relacionadas las actividades alimenticias están concentradas en la región centro-oeste de Belém y se localizan mayoritariamente en los barrios de Umarizal, Batista Campos, Nazaré, Cidade Velha, Marco y São-Brás. El mapeo de los contaminantes reveló que el CO presentó mayor densidad en el eje centro-oeste en barrios como Batista Campos y Guamá. El SO₂ presentó mayores densidades en barrios adyacentes al aeropuerto. Mayores densidades de NO₂ y O₃ fueron mapeadas en barrios diferentes de la fuente emisora. Los barrios de Maracangalha y Telégrafo presentaron mayores densidades de NO₂. Los barrios de Fátima y Barreiro presentaron las mayores densidades de O₃. Por otro lado son áreas poco arboladas, con excepción de algunas zonas verdes como bosque Rodrigues Alves y plaza Batista Campos, lo que agrava el problema de la contaminación del aire en esos barrios.

Palabras-clave: Contaminación del aire; Emisiones atmosféricas; Uso y ocupación del suelo; Geotecnologías; Detección Remota.

RESUMO. Neste trabalho o sensoriamento remoto foi utilizado para quantificar fontes estacionárias de poluição do ar. Além de mapear a densidade dos poluentes (CO, O₃, NO₂ e SO₂) no período de 2020 a 2023 na cidade de Belém-Pa. A quantificação das fontes de poluição foi obtida através da técnica de *web scraping* sobre o *google maps*, coletando as coordenadas de cada empreendimento e inserindo-as no *software QGIS* para geração dos mapas de *kernel*. A densidade dos poluentes foi calculada com base no número de pontos em um local, com números maiores de pontos agrupados resultando em valores maiores. Quantificou-se (145) postos de abastecimentos, (56) portos, (1) aeroporto. Além de fontes de poluição relacionadas as atividades alimentícias: (248) padarias, (231) pizzarias e (123) churrascarias (123). Fontes relacionadas as atividades alimenticias estão concentradas na região centro-oeste de Belém e localizam-se majoritariamente nos bairros do Umarizal, Batista Campos, Nazaré, Cidade Velha, Marco e São-Brás. O mapeamento dos



poluentes revelou que o CO apresentou maior densidade no eixo centro-oeste em bairros como Batista Campos e Guamá. O SO₂ apresentou maiores densidades em bairros adjacentes ao aeroporto. Maiores densidades de NO₂ e O₃ foram mapeadas em bairros diferentes da fonte emissora. Os bairros de Maracangalha e Telégrafo apresentaram maiores densidades de NO₂. Os bairros de Fátima e Barreiro apresentaram as maiores densidades de O₃. Por outro lado são áreas pouco arborizadas, com exceção de algumas áreas verdes como bosque Rodrigues Alves e praça Batista Campos, o que agrava o problema da poluição do ar nesses bairros.

Palavras-chave: Poluição do ar; Emissões atmosféricas; Uso e ocupação do solo; Geotecnologias; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT. In this work remote sensing was used to quantify stationary sources of air pollution. In addition to mapping the density of pollutants (CO, O₃, NO₂ and SO₂) in the period from 2020 to 2023 in the city of Belém-Pa. The quantification of the sources of pollution was obtained through the technique of web scraping on google maps, collecting the coordinates of each enterprise and inserting them in the QGIS software to generate the kernel maps. The density of pollutants was calculated based on the number of points in a location, with larger numbers of grouped points resulting in higher values. We quantified (145) gas stations, (56) ports, (1) airport. In addition to sources of pollution related to food activities: (248) bakeries, (231) pizzerias and (123) Churrascarias (123). Sources related to food activities are concentrated in the central-western region of Belém and are mostly located in the neighborhoods of Umarizal, Batista Campos, Nazaré, Cidade Velha, Marco and São-Brás. The mapping of the pollutants revealed that the CO showed higher density in the central-west axis in neighborhoods such as Batista Campos and Guamá. The SO₂ presented higher densities in neighborhoods adjacent to the airport. Higher densities of NO₂ and O₃ were mapped in different neighborhoods of the source. The neighborhoods of Maracangalha and Telégrafo presented higher densities of NO₂. The neighborhoods of Fátima and Barreiro presented the highest densities of O₃. On the other hand, they are poorly wooded areas, except for some green areas such as Rodrigues Alves forest and Batista Campos square, which aggravates the problem of air pollution in these neighborhoods.

Keywords: Air pollution; Atmospheric emissions; Land use and occupation; Geotechnology; Remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um dos principais problemas ambientais contemporâneos, e as fontes estacionárias de poluição do ar, também conhecidas por fontes fixas, são potenciais geradoras de poluição com efeitos nocivos ao ambiente, saúde humana e a degradação de espaços e equipamentos urbanos (Seinfeld e Pandis, 2016). Todavia, são menos pesquisadas quando comparadas com estudos sobre fontes móveis de poluição, como é o caso das fontes veiculares. Nesse sentido, é oportuno utilizar técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) para mapear e quantificar poluentes gasosos e fontes estacionárias de poluição, de modo a pensar na melhor gestão ambiental e no uso e ocupação do espaço urbano, neste caso na cidade de Belém-Pa. O recorte temporal do estudo corresponde ao período entre 2020 e 2023 e abarca o início da pandemia pela Covid-19 até a retomada à normalidade.

Nesse sentido, o SR constitui-se como uma importante ferramenta no monitoramento e planejamento urbano e ambiental das cidades conforme explanado por (Sun; Xiong, 2023; Zhou, 2023). E vem sendo empregado em diversos estudos ambientais, sendo de grande valia a sua aplicação nos estudos atmosféricos. A técnica remete na utilização de sensores para a obtenção de informações sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno da superfície, sem que haja contato direto entre eles. Técnicas de detecção remota têm sido utilizadas para estudar diferentes fenômenos, como os atmosféricos (Azevedo, 2021).



Para abordar esse tema, a Agência Espacial Europeia - ESA, desenvolveu o satélite *Sentinel 5P* que carrega a bordo o sensor *Tropospheric Monitoring Instrument* (Tropomi) (RNMI, 2022), monitorando diversos gases atmosféricos dentre os quais consideramos nesta pesquisa: monóxido de carbono (CO), óxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂) pela plataforma em nuvem *Google Earth Engine* (Halder *et al.*, 2023) onde fizemos o mapeamento e as análises dos dados. Ainda na plataforma foi feita a classificação de áreas verdes em Belém por meio de técnica de *slice*, abordagem que divide imagens em pequenas regiões ou segmentos, cada uma contendo um grupo de *pixels* (Darmawan *et al.*, 2020). A computação desempenha um papel crucial na obtenção de informações geoespaciais, incluindo o mapeamento de poluentes e identificação de fontes estacionárias de poluição. Diversos métodos são empregados nesse processo, sendo o *web scraping* um dos mais populares. Essa técnica permite extrair dados valiosos de *sites*, tornando-se uma ferramenta essencial em áreas como análise de dados e pesquisa de mercado (Brenning; Henn, 2023; Kulkarni, 2023).

Sendo assim, o objetivo deste estudo é mapear e quantificar gases poluentes e fontes estacionárias de poluição do ar na cidade de Belém. São exemplos de fontes estacionárias de poluição: aterro sanitário, termoeletricas, fábricas e indústrias, portos e aeroportos, postos de abastecimentos e as atividades de serviços e comércio decorrentes da queima de combustíveis fósseis ou biomassa, como as atividades em padarias, pizzarias e olarias (Seinfeld e Pandis, 2016; Lima *et al.*, 2020).

Por outro lado, pouco se sabe sobre o mapeamento e a quantificação dessas potenciais fontes de poluição. Entre as fontes estacionárias, o principal enfoque são as fontes ainda pouco estudadas mas com potencial dano ambiental, como: postos de abastecimento, portos, aeroportos e atividades como pizzarias, padarias e churrascarias. E, dentre os poluentes, considerou-se o CO, SO₂, NO₂ e O₃ por serem importantes parâmetros da qualidade do ar segundo legislações nacionais e internacionais e por órgãos ambientais e de saúde como a *United States Environmental Protection Agency* (EPA), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e a Organização Mundial de Saúde (OMS). Frequentemente esses poluentes estão associados a importantes eventos de degradação da qualidade do ar. Recentemente no Brasil foi sancionada a Lei Nº 14.850 de 02/05/2024 que instituiu a Política da Qualidade do Ar no Brasil com diretrizes relativas à gestão da qualidade do ar no território nacional no enfrentamento aos efeitos da poluição do ar.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e descrição da área de estudo

Belém é a capital do estado do Pará e está inserida nas coordenadas geográficas 1°27'21" S e 48°30'16" W. Com população estimada em 1.303.403 habitantes (IBGE, 2022), segue o mesmo panorama das outras metrópoles brasileiras, crescimento desordenado, com pouco ou nenhum planejamento, cujo processo de conturbação originou a região metropolitana de Belém (RMB). A (Figura 1) ilustra o mapa da cidade de Belém.



Figura 1. Localização da área de estudo, Belém - Pará.
Fonte: Figura do autor

Os dados referentes a quantificação das fontes de poluição foram obtidos por meio da técnica computacional de *web scraping* sobre o *google maps*, coletando as coordenadas de cada empreendimento ou obra, que posteriormente foram inseridas no *software QGIS* para geração dos mapas de *kernel* (Figura 2). A densidade foi calculada com base no número de pontos em um local, com números maiores de pontos agrupados resultando em valores maiores. Neste estudo foi utilizado a densidade de pontos e a área coberta pelo dado para definir os valores do raio e o mínimo de pontos agrupados, ajustando empiricamente o fator de escala a fim de conseguir a maior generalização possível, também foi aplicada uma suavização da grade para melhor visualização.

As escolhas para a densidade de *kernel* foram baseadas principalmente na dimensão dos dados extraídos do *Sentinel 5P OFFL L3* disponível no *Earth Engine* (EE) com resolução espacial de aproximadamente 1km, para padronizar os dados e evitar que a análise fique enviesada para variáveis com maior ordem de grandeza. No EE foram obtidas as coleções e as respectivas bandas (Tabela 1) no período de 2020 a 2023 análise (Figura 4). Foi criada uma aplicação para coleta de gráficos das médias mensais filtradas por *Savitzky-Golay*, método frequentemente usado para análise de séries temporais, com a finalidade de suavizar os dados, ou seja, aumentar a precisão dos dados sem distorcer a tendência do mesmo. Isso proporciona análises para qualquer *pixel* que compõe a área de estudo.

Collection	Band
COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO	CO_column_number_density
COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_SO ₂	SO ₂ _column_number_density
COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO ₂	NO ₂ _column_number_density
COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_O ₃	O ₃ _column_number_density

Tabela 1. Coleção de bandas referentes a obtenção da densidade dos poluentes.

O mapeamento de áreas verdes foi obtido mediante técnica de *slice* sobre imagens *planet-nicfi* de 2023 com resolução espacial de 5m, sobre essa coleção foi calculado o modelo linear de mistura espectral, onde usou-se 41 *endmembers* de vegetação, 22 *endmembers* para água e 132 *endmembers* para solo. Posteriormente as imagens fração foram

adicionadas à coleção *planet* sobre a qual foi criado o *slice* usando as frações vegetação (≥ 7) e solo (≤ 0) para compor a fatia de vegetação. Em seguida foram mascaradas as demais classes, ficando apenas com os *pixels* de vegetação nos quais foi necessário aplicar edição matricial no *QGIS* para remoção de *pixels* isolados e ajuste de bordas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da metodologia utilizada, foi quantificada e mapeada as respectivas fontes estacionárias de poluição do ar em Belém: (145) postos de abastecimentos, (56) portos, (1) aeroporto. Além das fontes relacionadas aos serviços e comércio, (248) padarias, (231) pizzarias e (123) churrascarias (123). Comparativamente a cidade de São Paulo possui quase 6.500 pizzarias (Lima *et al.*, 2020). Os mapas de *kernel* (Figura 2) apresenta a distribuição das fontes de poluição na cidade de Belém.

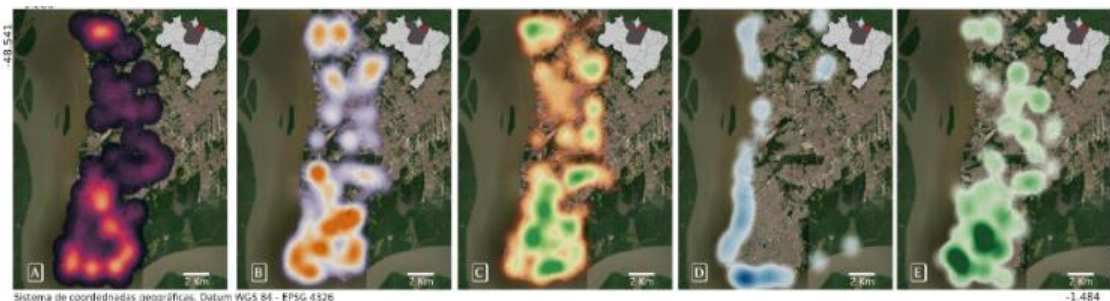


Figura 2 - Espacialização por estimativa de densidade do *kernel* das fontes de poluição
A) Churrascaria, B) Padarias, C) Pizzaria, D) Portos e E) Postos de abastecimento.

De acordo com a (Figura 2), o maior número de fontes de poluição está em áreas mais consolidadas da cidade de Belém, correspondente ao eixo centro-oeste. Ou seja, nos bairros do Umarizal, Batista Campos, Nazaré, Marco, Cidade Velha e São Brás em que normalmente a oferta de serviços é melhor. A região norte da cidade também apresentou significativa concentração de fontes. Essa região é representada principalmente pelo Distrito de Icoarací onde está localizada uma importante área portuária da cidade, além de bairros adjacentes como Benguí e Parque Verde cujo entorno caracteriza-se pela expansão de condomínios de prédios e casas de alto padrão, o que demanda novos serviços e atividades que se instalaram na região, principalmente do setor alimentício. Muitas dessas atividades ainda utilizam a lenha ou derivados da biomassa como fonte de energia, em partes pela baixa tecnologia empregada e/ou pelo preço atrativo (Sgarbin, *et al.*, 2013), contudo o processo de queima está associado com a emissão de poluentes.

Atividades portuárias foram mapeadas em praticamente toda a margem do rio que cerca a cidade, especialmente no extremo sul, no bairro de Cidade Velha e na região conhecida como Docas e terminal hidroviário, com atividades portuárias muito consolidadas em Belém. No extremo norte da cidade destaca-se a expressiva atividade portuária em Icoarací, com fluxo de barcos de diferentes portes e atividades para outras ilhas e Estados da região norte do país. O estudo de (Bezerra *et al.*, 2023) identificou 08 fontes de poluição do ar decorrentes da atividade portuária. Os postos de abastecimento, estão distribuídos praticamente em toda a cidade com presença mais expressiva no eixo centro-oeste. Um importante ponto precisa ser adicionado no diálogo entre o mapeamento das fontes de



poluição e o mapa de áreas verdes de Belém. No geral, bairros com maior quantidade de fontes de poluição apresentaram menor cobertura vegetal, o que torna a situação mais preocupante uma vez que a vegetação exerce um importante papel para amenizar os efeitos da poluição do ar. A (Figura 3) ilustra a cobertura de áreas verdes em Belém.



Figura 3. Cobertura de áreas verdes da cidade de Belém.

Fonte: Figura do autor

A (Figura 3) evidencia bairros centrais supervalorizados de Belém, mas com poucas áreas de vegetação, exceto por manchas de vegetação do museu Emílio *Goeldi* e algumas poucas ruas e praças como Batista Campos, para amenizar os efeitos da poluição do ar o que reforça o planejamento estratégico na recomposição da vegetação e criação de novas áreas verdes na cidade. A (Figura 4) apresenta a densidade dos poluentes em Belém.

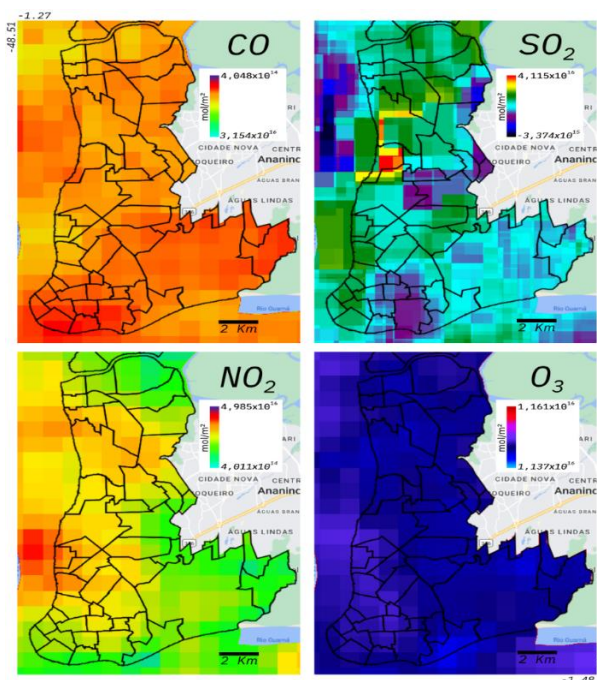


Figura 4. Mapeamento da densidade do CO, NO₂, SO₂ e O₃ durante o período entre 2020 e 2023 na cidade de Belém.

A maior densidade de O_3 média ao longo da série histórica foi quantificada nos bairros de Fátima, Umarizal, Telégrafo, Barreiro, Miramar e Maracangalha. Em contrapartida, o bairro com menor densidade de O_3 médio ao longo da série foi o Universitário, os dados da média mensal O_3 estão representados na (Figura 5).

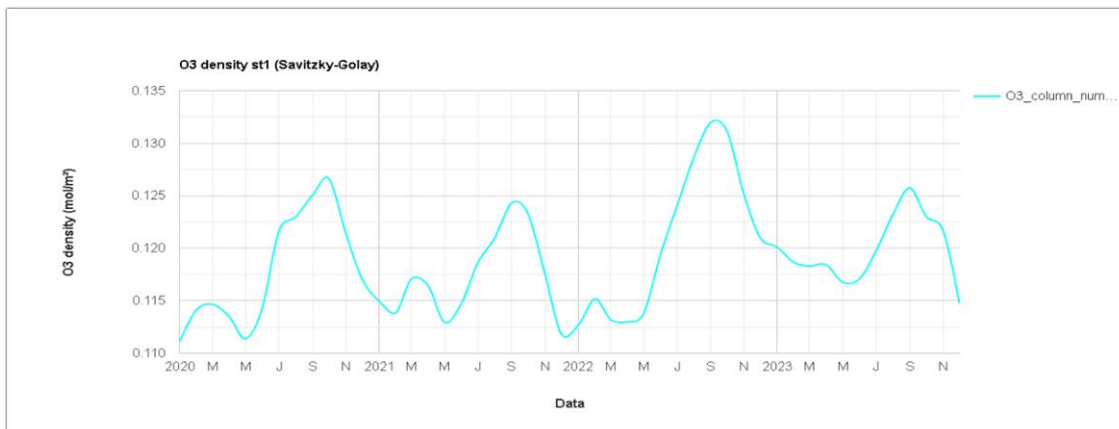


Figura 5. Variação da densidade do O_3 no período entre 2020 e 2023 na cidade de Belém.

O O_3 é um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente pela fonte de poluição, logo, depende de outros fatores para ser formado na atmosfera, como presença de radiação solar e poluentes precursores como hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x). O aeroporto, localizado no bairro de Val de Cans, justifica a elevada densidade do poluente nos bairros adjacentes. Nesses bairros estão localizadas importantes vias de acesso e tráfego veicular para o aeroporto, somado ao ozônio gerado no próprio aeroporto decorrente do uso de combustíveis fósseis para o abastecimento das aeronaves. Os meses de agosto e setembro (Figura 5) apresentaram os maiores picos do poluente em razão da elevada incidência de radiação solar que contribui para a formação do ozônio. Por outro lado, os meses de abril e maio apresentaram para o período do estudo as menores densidades do poluente, muito provavelmente em decorrência da menor disponibilidade da radiação solar e maior presença da chuva ocasionando a remoção dos precursores na atmosfera. Além da possibilidade de mudança da direção e velocidade do vento que pode ter transportado os precursores do ozônio para outras regiões. Outros estudos também identificaram os aeroportos como importantes fontes emissoras de ozônio e de outros poluentes (Junior, 2008).

Em relação a densidade de NO_2 (Figura 4), os bairros Telégrafo, Barreiro, Miramar e Maracangalha seguidos de perto pelo Tapanã são os que apresentam maior densidade, sendo que a pluma de NO_2 se espalha também sobre o rio e aparentemente tem alguma relação com as rotas de pouso e decolagem no aeroporto que também é uma das maiores cotas altimétricas da cidade.

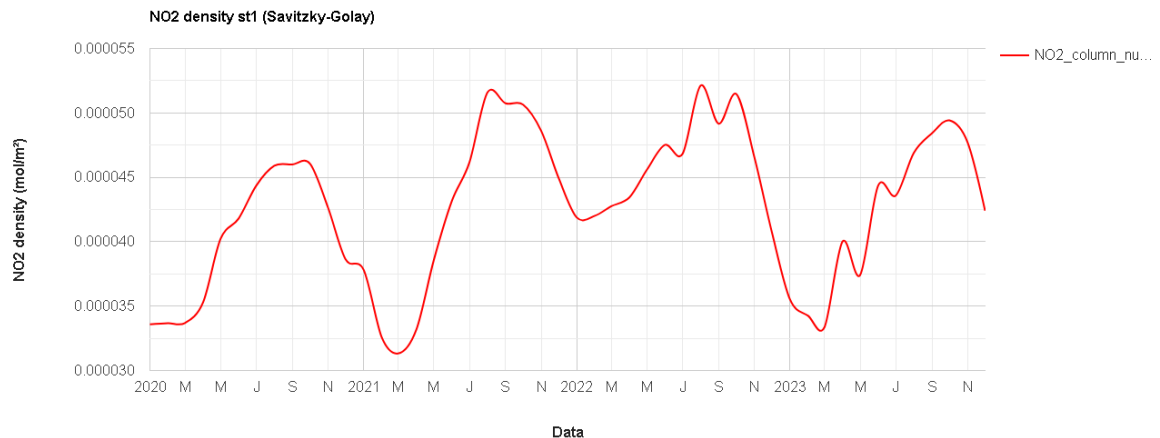


Figura 6. Variação da densidade do NO₂ no período entre 2020 e 2023 na cidade de Belém.

Além disso, a atividade portuária que segue ao longo de praticamente todo o rio também exerce contribuição na densidade de NO₂, soma-se a isso a proximidade com importantes vias com intenso tráfego de veículos pesados, como ônibus e caminhões. A figura 6 apresenta a variação na densidade do NO₂, os meses de agosto e setembro apresentam os maiores picos evidenciando um padrão para o poluente, provavelmente influenciado pelas condições meteorológicas correspondente ao início do verão na Amazônia. Referente ao SO₂, a (Figura 7) ilustra a variação da densidade do SO₂ ao longo do período com maiores picos entre os meses de abril e maio. Diferente dos demais poluentes, o SO₂ não apresentou para o período um padrão muito regular.

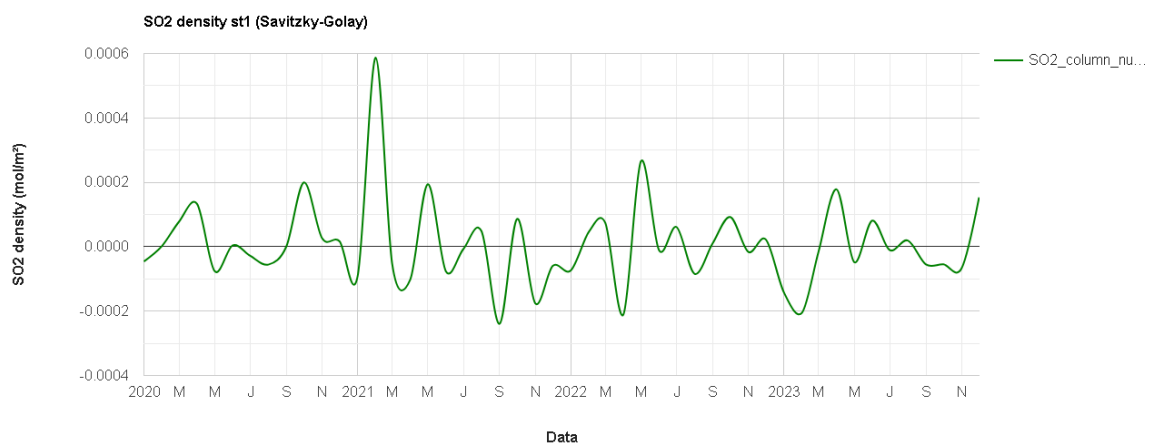


Figura 7. Variação da densidade do SO₂ no período entre 2020 e 2023 na cidade de Belém.

O bairro com maior densidade de SO₂ é a Pratinha, porém é um bairro muito residencial com poucas atividades que pontuamos, no entanto ele está muito próximo ao aeroporto e de área portuária, cujo uso de combustível para o abastecimento das aeronaves e barcos e do tráfego nas vias de acesso explicam o resultado (Figura 4). O enxofre é um dos principais constituintes do óleo Diesel utilizado nos chamados veículos pesados, como

ônibus e caminhões. O que explica densidades mais altas do poluente. Seguido de perto pelo Tapanã, Parque Guajará e Maracacuera, esse último tem uma diversidade de atividades como Indústria madeireira, Serraria transportadoras, estaleiros, entre outras atividades.

E finalmente o CO, o poluente tem uma distribuição mais acentuada na região centro-oeste da cidade de Belém, nos bairros da Cidade Velha, Campina, Batista Campos, Jurunas, Condor, Cremação, Guamá, Nazaré, São Brás, Fátima (Figura 4). A distribuição pode estar associada à maior parte das estruturas urbanas mapeadas como o núcleo dos postos de abastecimento, além do maior fluxo de veículos leves nesses bairros. Outra parte da cidade também apresenta significativa densidade de CO que são os bairros do Aurá, Águas Lindas e Curió-Utinga que podem estar relacionados ao lixão da cidade que fica localizado no Bairro do Aurá. A cidade ainda não dispõe de aterro sanitário. Estudos como o de Espírito (2019) também considerou o lixão de Belém como contribuintes na emissão do CO. A (Figura 8) apresenta a densidade do CO ao longo do período do estudo.

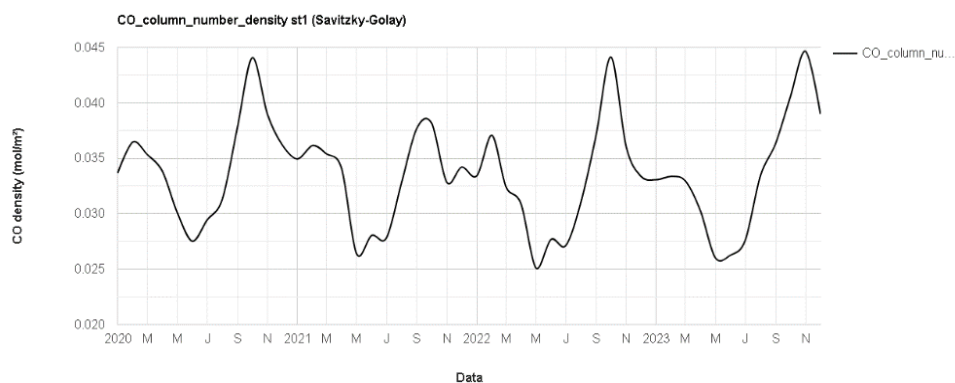


Figura 8. Variação da densidade do CO no período entre 2020 e 2023 na cidade de Belém.

4. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo identificar fontes estacionárias de poluição do ar e mapear os poluentes (CO, NO₂, SO₂ e O₃) no período entre 2020 e 2023 na cidade de Belém-Pa mediante o uso do Sensoriamento Remoto (SR). Conclui-se que a maior presença das fontes de poluição estão principalmente em bairros mais centrais e pouco concentradas na região leste da cidade. É necessário espacializar as novas fontes que possam vir a surgir como medida indireta em relação ao enfretamento a poluição do ar na cidade. A maior concentração de fontes de poluição relacionadas a serviços, por exemplo, gera maior pressão e especulação pelo uso e ocupação do espaço urbano, com maior trânsito local e emissão de poluentes de fontes veiculares. Instrumentos de planejamento urbano e ambiental como o zoneamento e impacto de vizinhança precisam ser urgentemente considerados na ocupação e usos do espaço de Belém.

A escassez de áreas verdes agrava o problema da poluição do ar em Belém, uma vez que os bairros com maiores concentrações de fontes de poluição e maior densidade de poluentes apresentam baixa cobertura de áreas verdes. Além disso, alerta-se para a construção de prédios cada vez mais altos e localizados em poucos bairros da cidade, sobretudo no bairro do Umarizal e Batista Campos, que contribuem para a geração de



poluição durante a fase de construção, com o aprisionamento de material particulado nas ruas e avenidas, inclusive é um dos temas emergentes em poluição atmosférica, a modelagem da poluição do ar, e o Sensoriamento Remoto constitui-se como poderosa ferramenta nesse tipo de estudo.

REFERÊNCIAS

BRENNING, A.; HENN, S. **Web scraping: a promising tool for geographic data acquisition**. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2305.19893>>.

DARMAWAN, I. G. B. et al. Preliminary Study of Mining Material Prospects Based on Hydrothermal Alteration Distribution Using Composite and Density Slicing of Landsat 8 Image in Ulubongka Regency, Central Sulawesi. **PROMINE**, v. 8, n. 1, p. 1–7, 2020.

ESPIRÍTU, J.G.M. **O aterro sanitário de marituba: estimativa e dispersão das emissões de biogás e a percepção da mudança da qualidade do ar pela população do entorno**. 2019, Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará.

HALDER, B. et al. **Machine learning-based country-level annual air pollutants exploration using Sentinel-5P and Google Earth Engine**. Scientific Reports, v. 13, n. 1, 17 maio 2023.

IBGE. **Panorama**. Disponível em<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>>. Acesso em: 5 abr. 2024.

KULKARNI, S. Web Scraping: Extracting Insights from the Digital Landscape. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology**, v. 11, n. 5, p. 7564–7567, 31 maio 2023.

LIMA, F. D. M. L.; PEREZ-MARTINEZ, P.J.; ANDRADE, M.F.; KUMAR, P.; MIRANDA, R. M. **Characterization of particles emitted by pizzerias burning wood and briquetes: a case study at São Paulo, Brazil**. Environmental Science and Pollution Research. 2020.

ROYAL NETHERLANDS METEOROLOGICAL INSTITUTE (RNMI) . **Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual UV Aerosol Index**<https://sentinel.esa.int/>. Holanda: DLR, 11 jul. 2022. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/documents/247904/2474726/Sentinel-5P-Level-2-Product-User-Manual-Aerosol-Index-product>>. Acesso em: 5 abr. 2024.

SEINFELD, J. H. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. Third. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons , Inc., 2016. 1963 p.

SUN, S.; XIONG, T. Application of remote sensing technology in sustainable urban planning and development. **Applied and Computational Engineering**, v. 3, n. 1, p. 283–288, 25 maio 2023.

ZHOU, J. Application of remote sensing technology in urban environment monitoring. In: **Advances in Civil Engineering and Environmental Engineering, Volume 2**. London: CRC Press, 2023. p. 75–81.