

## CONCENTRAÇÕES DE NO<sub>2</sub> E CO NA CIDADE DE GOIÂNIA

*NO<sub>2</sub> and CO concentrations in the city of Goiânia*

**Heleno Proiss Slompo<sup>1</sup>**

**Cássia Monalisa dos Santos Silva<sup>2</sup>**

**Rafael Rodrigues da Franca<sup>3</sup>**

### RESUMO

Neste estudo foi analisado a poluição por NO<sub>2</sub> e CO em Goiânia (GO) entre 2019-2024, com dados do sensor TROPOMI e variáveis meteorológicas (INMET). Os poluentes aumentaram de maio a setembro, com ápice em setembro. O CO exibiu maior dispersão espacial; O NO<sub>2</sub> concentrou-se na região centro-oeste da cidade. Correlações positivas moderadas com temperatura e inversões na pressão e umidade foram identificadas. Precipitação e vento impactaram minimamente as concentrações.

**Palavras-chaves:** Poluição atmosférica; Sensoriamento remoto; Centro-Oeste.

### INTRODUÇÃO

As áreas urbanas são grandes emissoras e modeladoras de processos (termo)dinâmicos que ocorrem sobre as cidades (Sarrat et al., 2006). A Camada Limite Planetária (CLP) desempenha um papel fundamental nesses processos, atuando como reservatório dos poluentes e regulando sua dispersão, mistura, transformação, transporte e deposição (Oke, 2002). Sob esta camada, em áreas urbanas, ocorre a formação do chamado “smog fotoquímico”, resultado da emissão de poluentes por combustão interna e vapores industriais. Esses compostos interagem com a luz solar, promovendo reações que originam poluentes secundários a partir dos primários (Rani et al., 2011).

No contexto urbano, os veículos são responsáveis por aproximadamente 60% das emissões de monóxido de carbono (CO), 50% dos óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e 40% dos compostos orgânicos (HC) e do Material Particulado (MP) (UEPA, 1998). Tanto o NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) quanto o CO passam por sucessivos processos químicos, o que inclui fotodissociações, reações e remoções por deposição seca e/ou úmida. O inventário de emissões do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG (2024) indica que o setor de energia, com grandes quantidades de poluição atmosférica urbana, é a principal fonte de emissões em Goiânia, a segunda cidade mais populosa do Centro-Oeste brasileiro e que apresenta grande dinâmica urbana, como o transporte na queima de combustível.

O propósito de estudar concentrações ajuda a inferir as áreas de emissão. Se optou pela seleção da cidade de Goiânia, justificada por sua intensa dinâmica de fluxos e potencial emissor. Este estudo incluiu os parâmetros meteorológicos associados às concentrações de monóxido de carbono (CO) e dióxidos de nitrogênio (NO<sub>2</sub>).

---

<sup>1</sup> Universidade de Brasília (UnB): [heleno\\_slompo@hotmail.com](mailto:heleno_slompo@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Goiás (UEG): [cassia.silva@ueg.br](mailto:cassia.silva@ueg.br)

<sup>3</sup> Universidade de Brasília (UnB): [rrfranca@unb.br](mailto:rrfranca@unb.br)

A abordagem temporal e espacial auxiliou na discussão com o uso do sensoriamento remoto, a partir dos dados do TROPOMI, do Sentinel-5P, disponíveis em Google Earth Engine (GEE), combinados com aplicações estatísticas de correlação simples, considerando as variáveis meteorológicas mais importantes para a concentração dos poluentes na cidade de Goiânia.

## **METODOLOGIA**

Para trabalhar com os dados referentes ao dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e o monóxido de carbono (CO), os dados foram obtidos do satélite TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument) através da plataforma Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>) entre os meses de maio a setembro entre 2019 e 2024. Essa plataforma é um repositório de imagens de sensoriamento remoto de alguns dos principais satélites de SR, o que inclui OMI, Landsat e o MODIS. De uma forma acessível, a plataforma possibilita que os dados sejam obtidos pelo próprio usuário usando da linguagem de programação JavaScript (Armani et al., 2020).

A coluna de densidade do dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e o monóxido de carbono (CO) do TROPOMI, na plataforma GEE, são expressas em  $\text{mol/m}^2$  para distribuição do gás na coluna vertical atmosférica, e não reflete a concentração sugerida pela Resolução Federal Resolução CONAMA nº 506/2024 (Brasil, 2024) referentes aos estudos da qualidade do ar. Para tanto, foi necessário a conversão para concentração em  $\mu\text{g/m}^3$  ( $\text{NO}_2$ ) e ppm (CO). Essa escala de medida, então, pôde ser representada com os gradientes verde, amarela, laranja, vermelha e roxa, respectivamente apresentando os graus de severidade conforme o CONAMA supracitado.

Os dados referentes às condições meteorológicas foram obtidos da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do período da seca entre 2019 e 2024 na estação de Goiânia, situada nas coordenadas de Lat. -16.64, Long. -49.22. Os dados meteorológicos foram as médias diárias, incluindo temperatura, umidade relativa, velocidade do vento (VV) e pressão atmosférica. Direção do vento e radiação não estão disponíveis no banco de dados do INMET.

Os dados foram tabelados no software Microsoft Excel para análise preliminar de correlações estatísticas simples, para verificar a influência das variáveis meteorológicas na concentração do  $\text{NO}_2$  e o CO levando em consideração a abordagem isolada dos componentes, mas considerando em alguns casos eles como interligados para a discussão. Pretende-se considerar essas possíveis relações a fim de trazer uma discussão sobre a variação na concentração dos poluentes em razão das variáveis atmosféricas. A estatística descritiva representa uma avaliação preliminar para este estudo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A alta resolução espacial do TROPOMI captou com uma precisão maior a variação de concentrações de CO e  $\text{NO}_2$  na cidade após a conversão das unidades de medida para  $\mu\text{g/m}^3$  ( $\text{NO}_2$ ) e ppm (CO). Observou-se que o CO apresenta maior concentração na porção centro-sul de Goiânia, embora exiba variação espacial significativa entre agosto e setembro, com surgimento de hotspots secundários nas regiões norte e oeste da capital. Em contraste, o  $\text{NO}_2$  mostrou padrão diferente, com concentrações mais elevadas e homogêneas no centro urbano.

As médias dos poluentes em Goiânia foram de  $0,28 \mu\text{g/m}^3$  para  $\text{NO}_2$  e 64,18 ppm para CO. Quanto às condições meteorológicas, destacaram-se temperatura média de  $23^\circ\text{C}$ , pressão atmosférica elevada (934,24 hPa), de pouca variação (2,04), umidade relativa do ar (UR) de 52% e velocidade do vento considerado fraco (3,10 m/s), típicos de um período de estabilidade atmosférica. A precipitação foi muito baixa para esse período, com média de 0,21, apenas, e máximo de 20mm. Os dados em que se obtiveram essas médias não levaram em consideração o intervalo intradiário, pois estes tipos de dados se considera o uso de medições in situ.

Os resultados das correlações revelaram padrões distintos na influência dos parâmetros

meteorológicos sobre as concentrações dos poluentes analisados. A temperatura do ar demonstrou uma relação positiva estatisticamente significativa com ambos os compostos, apresentando uma associação mais robusta com o CO ( $r = 0,65$ ,  $p < 0,01$ ) do que com o NO<sub>2</sub> ( $r = 0,50$ ,  $p < 0,05$ ). Em contraste, a umidade relativa exibiu correlações negativas moderadas com os dois poluentes, sendo mais pronunciada para o NO<sub>2</sub> ( $r = -0,52$ ,  $p < 0,01$ ) do que para o CO ( $r = -0,41$ ,  $p < 0,05$ ).

A pressão atmosférica também apresentou correlações inversas de magnitude moderada, com ambos os poluentes (NO<sub>2</sub>:  $r = -0,41$ ; CO:  $r = -0,47$ ;  $p < 0,05$ ). Notavelmente, a precipitação pluviométrica não demonstrou associação significativa com as concentrações de NO<sub>2</sub> ( $r = 0,08$ ) ou CO ( $r = 0,05$ ). Da mesma forma, a velocidade do vento (VV) não apresentou correlações estatisticamente significativas com nenhum dos poluentes analisados (NO<sub>2</sub>:  $r = 0,12$ ; CO:  $r = 0,09$ ).

Em termos de tendências temporais, 2021 registrou as maiores concentrações de NO<sub>2</sub>, enquanto o CO atingiu seu pico em 2024. Nota-se ainda uma tendência de aumento nas concentrações de NO<sub>2</sub> para 2024. Em praticamente todos os meses é notável a maior concentração de ambos os poluentes no mês de seca para a cidade, com aumento progressivo até o mês de setembro, e com menores concentrações entre maio e junho.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a viabilidade do uso de sensoriamento remoto, em particular do sensor TROPOMI, como alternativa eficaz para o monitoramento da poluição atmosférica no Centro-Oeste do Brasil, região que enfrenta carências de infraestrutura para medições in situ. A superior resolução espacial do TROPOMI permitiu identificar padrões de distribuição de poluentes em escala urbana, revelando áreas de maior concentração (hotspots) que seriam difíceis de detectar com métodos convencionais.

A análise estatística evidenciou que temperaturas elevadas favorecem a formação de inversões térmicas - fenômeno no qual uma camada de ar quente aprisiona o ar mais frio próximo à superfície, impedindo a dispersão de poluentes (Trinh et al., 2019). Esse padrão é particularmente característico do inverno na região, quando predominam condições atmosféricas estáveis e céu limpo. Tais condições inibem a entrada de sistemas precipitantes no Centro-Oeste, resultando em períodos prolongados sem chuva, os quais estão associados a temperaturas mais altas e maiores concentrações de poluentes. A umidade relativa, por sua vez, mostrou-se relacionada principalmente aos episódios pluviométricos esporádicos, o que explica sua correlação negativa com as concentrações de poluentes.

A baixa velocidade do vento ( $< 3$  m/s) observada na região demonstrou ter efeito limitado na dispersão dos poluentes. Contrastando com estudos realizados em áreas altamente poluídas como a China (Liu et al., 2020), onde a velocidade do vento apresenta correlação significativa com a redução de NO<sub>2</sub>, nossos resultados sugerem que as condições climáticas regionais e os níveis mais baixos de poluição tornam esse mecanismo menos relevante no contexto estudado.

O estudo revelou ainda que o aumento da pressão atmosférica está associado à redução nas concentrações de CO e NO<sub>2</sub>. Contudo, é importante ressaltar que condições de alta pressão podem induzir subsidência na troposfera inferior, trazendo para a superfície poluentes de camadas mais altas da atmosfera (Baumbach; Vogt, 2003). Esse fenômeno representa um desafio particular para o sensoriamento remoto, pois o TROPOMI pode não capturar adequadamente os poluentes próximos à superfície durante esses eventos.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a inclusão de outras cidades e a análise de períodos de transição entre estações, ampliando assim a abrangência espacial e temporal do estudo. Embora os perfis de emissão em áreas urbanas apresentem certa estabilidade, picos de concentração podem ocorrer devido tanto a variações nas fontes emissoras quanto a mudanças

abruptas em parâmetros meteorológicos não capturados por análises estatísticas simples. Nesse contexto, modelos atmosféricos de química e dispersão mais sofisticados poderiam fornecer insights adicionais, embora demandem maior conhecimento teórico e capacidade computacional.

Enquanto métodos estatísticos descritivos e de correlação servem como ferramentas preliminares valiosas, abordagens mais avançadas como a Análise Rítmica de Monteiro - ainda pouco explorada no estudo da poluição atmosférica - poderiam revelar padrões espaço-temporais que escapam tanto às análises estatísticas convencionais quanto aos modelos complexos. Essa abordagem promissora merece maior atenção em estudos futuros sobre a dinâmica da qualidade do ar na região.

## REFERÊNCIAS

SARRAT, C.; LEMONSU, A.; MASSON, V.; GUÉDALIA, D. Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 10, p. 1743-1758, 2006.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. Routledge, 2002.

RANI, B.; SINGH, U.; CHUHAN, A. K.; SHARMA, D.; MAHESHWARI, R. Photochemical smog pollution and its mitigation measures. **Journal of Advanced Scientific Research**, v. 2, n. 4, p. 28-33, 2011.

UEPA. National air pollutant emission trends 1990-1996. **EPA-454/R-98-008**, 1998.

AMANI, M.; GHORBANIAN, A.; AHMADI, S. A.; KAKOOEI, M.; MOGHIMI, A.; MIRMAZLOUMI, S. M.; BRISCO, B. Google Earth Engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: a comprehensive review. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 13, p. 5326-5350, 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 9 jul. 2024, p. 133. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/index.php?id=827&option=com\\_sisconama&task=arquivo.download](https://conama.mma.gov.br/index.php?id=827&option=com_sisconama&task=arquivo.download). Acesso em: 27 dez. 2024.

TRINH, T. T.; TRINH, T. T.; LE, T. T.; NGUYEN, T. D. H.; TU, B. M. Temperature inversion and air pollution relationship, and its effects on human health in Hanoi City, Vietnam. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 41, n. 2, p. 929-937, 2019.

LIU, Y.; ZHOU, Y.; LU, J. Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 14518, 2020.

BAUMBACH, G.; VOGT, U. Influence of inversion layers on the distribution of air pollutants in urban areas. **Water, Air, & Soil Pollution: Focus**, v. 3, p. 65-76, 2003.