

AVALIAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE: UM ESTUDO DE CASO EM ÁREAS URBANAS NOS BAIRROS DO RECIFE-PE

Tamires Gabryele de Lima Mendes¹
Rafaela Melissa Andrade Ferreira²
Tawana De Melo Pereira³
Cristiana Coutinho Duarte⁴
Ranyére Silva Nóbrega⁵

RESUMO

A poluição atmosférica é um problema global de repercussões na saúde humana, na qualidade ambiental e no equilíbrio dos ecossistemas. As cidades, devido à densidade populacional e à mobilidade, muitas vezes tornam-se focos de poluição, impactando especialmente as populações mais vulneráveis. A Região Metropolitana do Recife (RMR) enfrenta desafios quanto à poluição do ar, principalmente na área urbana do Recife. Este estudo buscou avaliar dados de emissões atmosféricas da plataforma do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), com foco no material particulado (MP), em áreas urbanas específicas no Recife. Variáveis climáticas, como temperatura, umidade e velocidade/direção do vento, também foram consideradas. A metodologia envolve revisão bibliográfica, coleta de dados secundários do IEMA, dados primários nos bairros do Recife. Os resultados evidenciaram picos de ultrapassagem em 2022 na zona industrial relacionada ao MP, enquanto na zona urbana, o bairro de Dois Irmãos apresentou maiores concentrações, ainda dentro dos limites da Organização Mundial da Saúde (OMS). O estudo destacou a influência da morfologia urbana na qualidade do ar, considerando densidade de construção e uso do solo na concentração e dispersão dos poluentes. Em suma, as abordagens exploradas, tanto na zona industrial como na zona urbana, complementam o entendimento da poluição atmosférica na RMR. A análise industrial permite compreender a dinâmica dos poluentes nesse contexto específico, enquanto a análise urbana avalia a exposição da população e os impactos potenciais na saúde e no bem-estar das pessoas nessas áreas.

Palavras-chave: Qualidade do Ar, Material Particulado, Clima Urbano e Vulnerabilidade.

ABSTRACT

Air pollution is a global issue with repercussions on human health, environmental quality, and ecosystem balance. Cities, due to their high population density and mobility, often become focal points of pollution, disproportionately affecting vulnerable populations. The Metropolitan Region of Recife (MRR) faces challenges regarding air pollution, particularly in the urban area of Recife. This study aimed to evaluate atmospheric emissions data from the Institute of Energy and Environment (IEMA) platform, focusing on particulate matter (PM), in specific urban areas in Recife. Climatic variables such as temperature, humidity, and wind speed/direction were also considered. The methodology involved literature review,

¹ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFPE, tamires25lima@hotmail.com;

² Mestranda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal - UFPR, rafaela.andrade@ufpr.br;

³ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFPE, tawana.melo@ufpe.br;

⁴ Doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Federal - UFPE, cristiana.duarte@ufpe.br;

⁵ Professor orientador: Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal - UFPE, ranyere.silva@professor.ufcg.edu.br.

collection of secondary data from IEMA, and primary data collection in Recife neighborhoods. The results revealed peak exceedances in 2022 in the industrial zone related to PM, while in the urban zone, the Dois Irmãos neighborhood exhibited higher concentrations, still within the limits set by the World Health Organization (WHO). The study highlighted the influence of urban morphology on air quality, considering building density and land use in pollutant concentration and dispersion. In summary, the approaches explored, both in the industrial and urban zones, complement the understanding of air pollution in the MRR. The industrial analysis helps comprehend pollutant dynamics in this specific context, while the urban analysis assesses population exposure and potential impacts on the health and well-being of people in these areas.

Keywords: Air Quality, Particulate Matter, Urban Climate, and Vulnerability.

INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um problema global que afeta a saúde humana, a qualidade ambiental e o equilíbrio dos ecossistemas. Existem várias fontes de poluição atmosférica, que podem ter origem tanto antropogênica quanto natural. No que se refere às fontes antropogênicas, podemos mencionar a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica, nos setores de transporte, indústria e residências, bem como os processos industriais e a utilização de solventes. Em relação às fontes naturais, destacam-se as erupções vulcânicas, a dispersão de poeira pelo vento e queima de combustível como o material particulado (MP), a evaporação da água do mar e as emissões de compostos orgânicos voláteis provenientes das plantas (AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE, 2020).

Os impactos das mudanças climáticas estão se tornando cada vez mais evidentes em diferentes aspectos da sociedade. No entanto, estudos indicam que as populações mais vulneráveis são as mais afetadas por essas mudanças (FERNANDES; HACON; NOVAIS, 2021). Nesse contexto, as cidades concentram a maior parte dos problemas decorrentes das transformações ambientais e, ao mesmo tempo, funcionam como catalisadoras de poluentes devido à densidade populacional e à mobilidade (BRAZ; LONGO, 2021). Dessa forma, o ambiente urbano se torna um laboratório para diagnosticar os fatores de poluição, ao mesmo tempo em que se configura como um local privilegiado para a implementação de políticas públicas mitigadoras, que se baseiam nesses diagnósticos.

No estado de Pernambuco, existem projetos, estudos de caso e simulações de dispersão na Região Metropolitana do Recife (RMR), entretanto não há estudo voltado para a relação da dinâmica da cidade com os poluentes. Existem poucos estudos sobre a poluição do ar no Recife, mostrando, assim, o déficit dessa temática nessa cidade. Os autores Silva et al. (2015) avaliaram as tendências de séries temporais de emissão dos gases de óxidos de nitrogênio (Nox),

Hidrocarbonetos (HC), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂) e MP10 por automóvel e por tipo de combustível (gasolina e álcool) no período de 1990 a 2013. Os resultados para o material particulado apresentaram um crescimento sem expectativa de redução. Os cálculos foram realizados por equação de tendência.

Nos estudos de Santos (2016), a ferramenta de avaliação de qualidade do ar se dá por meio de biomonitoração com o uso de organismos como biomonitores líquens e plantas epífitas que acabam sendo uma alternativa mais acessível e apresentando uma eficácia na avaliação da qualidade do ar usando a quantificação de elementos químicos integrados ao tráfego de veículos nos tecidos dos biomonitores. Nos resultados obtidos por Santos (2016), percebe-se um aumento considerável de veículos automotivos no município do Recife nos últimos anos.

No estudo recente de Alcântara (2019), foram utilizados modelos de regressão de vetores e sistema de tendências para prever os níveis de poluentes atmosféricos, como MP10, CO, Ozônio (O₃) e Dióxido de Nitrogênio (NO₂). O diferencial desse estudo foi a inclusão de variáveis meteorológicas, como velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar, visando demonstrar a importância desses fatores na previsão da poluição do ar. Os dados foram coletados na estação RNEST da CPRH, localizada no complexo industrial de Suape, município de Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco. É importante ressaltar que esses dados foram coletados em uma área distante do Recife e apresentam resultados específicos para essa região. Portanto, não é recomendado generalizar os resultados para a Região Metropolitana do Recife (RMR). Para uma análise mais precisa e dinâmica, seria necessário coletar dados tanto de poluentes quanto de variáveis meteorológicas em pontos específicos da cidade. A hipótese central do estudo é válida ao utilizar as variáveis meteorológicas para monitorar a qualidade do ar, uma vez que essas características afetam o tempo de permanência e dispersão dos poluentes atmosféricos.

Como mencionado anteriormente, a monitoração da qualidade do ar está concentrada nos municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, localizados na Região Metropolitana do Recife, onde se encontram indústrias e o setor portuário. Como resultado, poucos estudos têm se concentrado na parte urbana da cidade do Recife. Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho é avaliar os dados de poluentes atmosféricos da plataforma do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), composta por 6 estações localizadas em uma zona industrial. No entanto, este estudo se concentrará especificamente na estação da CPRH (Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), que representa uma perspectiva mais contextualizada da zona industrial. Posteriormente, será realizada uma análise específica dos dados de material particulado em bairros da cidade do Recife, que são consideradas áreas urbanas. Além disso,

serão exploradas as possíveis correlações entre esses dados e variáveis climáticas, tais como temperatura do ar, umidade do ar e velocidade/direção do vento.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo abordada neste artigo compreenderá duas zonas de análise distintas: uma zona industrial e uma zona urbana. Nesse contexto, a Figura 1 ilustra a distribuição das estações de monitoramento existentes no estado de Pernambuco e a quantidade representativa de dados de 2017 a 2022. Dentro dessa região, dentre as seis estações de monitoramento localizadas no município de Cabo de Santo Agostinho e operadas pela CPRH, foi selecionada a estação de monitoramento denominada “Cabo de Santo Agostinho (CPRH)”.

Figura 01- As estações distribuídas em Cabo de Santo Agostinho e Dados disponibilizados na Plataforma IEMA.

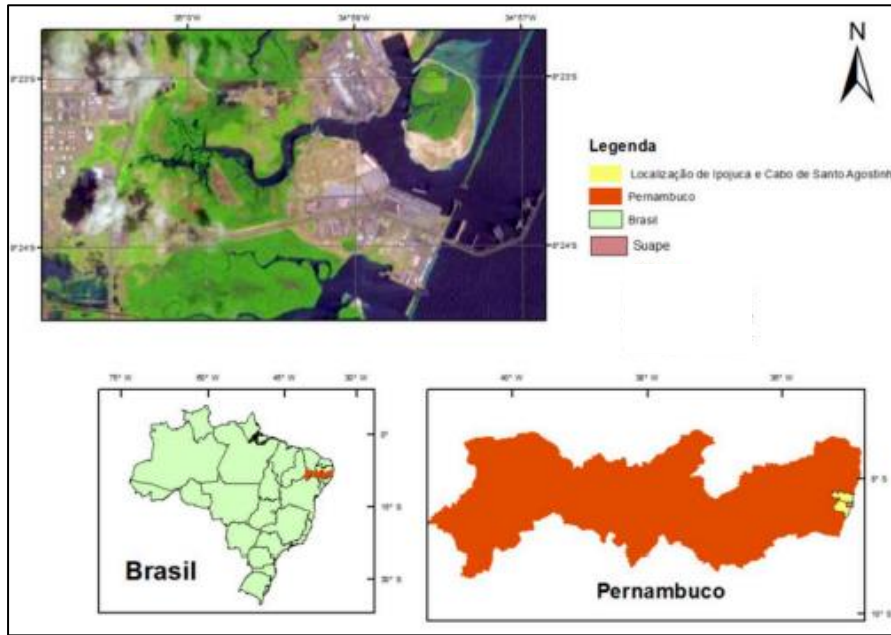


Fonte: IEMA e elaboração dos autores (2023).

Parte da concentração urbana do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca está situada na região litoral, abrangendo diversas praias. É importante destacar que Cabo de Santo Agostinho possui uma extensão litorânea de 14,51 quilômetros, enquanto Ipojuca estende-se por 32 Km, totalizando aproximadamente 46,5 quilômetros de faixa costeira (SILVA, 2011). A Figura 2 exibe um mapa que ilustra a posição geográfica do Estado de Pernambuco no Brasil. A representação é ampliada para mostrar em detalhes os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, e inclui um polígono que delimita a localização do Complexo Industrial e Portuário de Suape. A implantação do Complexo Industrial de Suape no litoral sul de Pernambuco tem desempenhado um papel significativo no desenvolvimento econômico do estado.



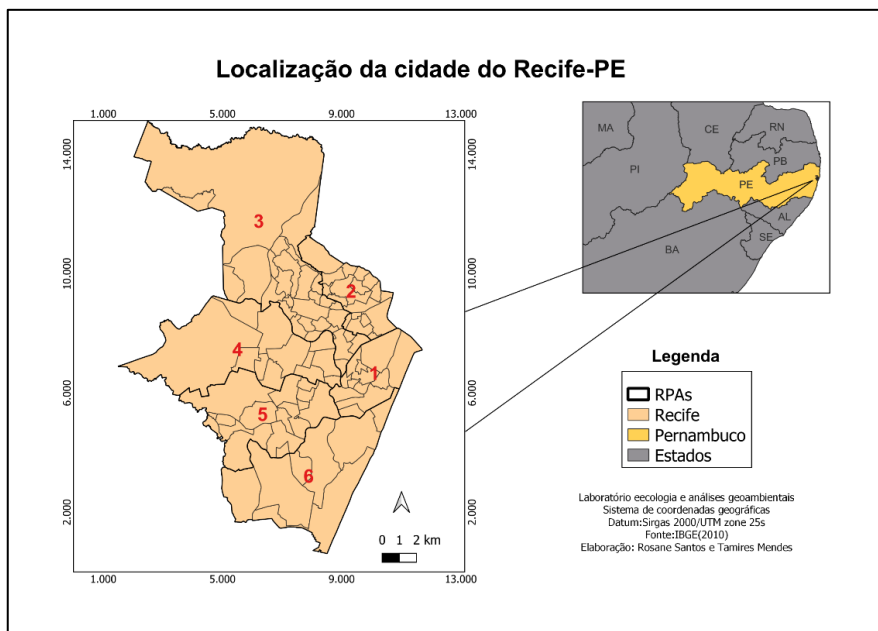
Figura 2- Mapa de Localização do Complexo Industrial e Portuário de Suape.



Fonte: IBGE (2020).

O complexo industrial de Suape é uma importante área industrial e portuária que abriga uma variedade de indústrias, incluindo petroquímica, metalurgia, automobilística e logística. Dessa forma, resultando em uma série de problemas ambientais e desafios relacionados à sustentabilidade como a poluição do ar. A segunda área abordada compreende a zona urbana de Recife (figura 3), que está a uma distância de 34 km do Cabo de Santo Agostinho.

Figura 3- Localização da zona urbana do Recife-PE.

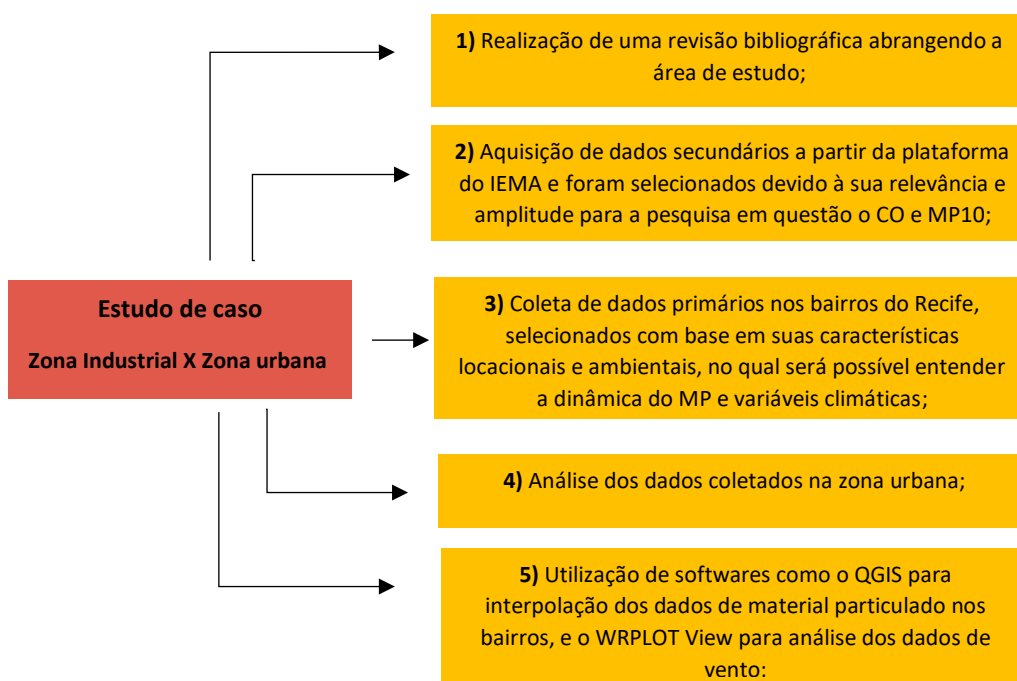




Procedimentos metodológicos

A metodologia empregada nesta pesquisa consiste em duas etapas distintas, conforme ilustrado na Figura 4. A primeira etapa envolve a análise de dados secundários, enquanto a segunda compreende a coleta de dados primários.

Figura 4- Fluxograma metodológico



Fonte: elaboração dos autores (2023).

A coleta dos dados primários foi realizada no intervalo de tempo das 07h30 às 18h00, com um intervalo de 30 minutos entre as medições de material particulado, temperatura e umidade. Foi utilizado um contador de partículas da marca DT-9880 da INSTRUTEMP, fixado a uma altura de 1,50 metros. Em datas específicas do mês de março de 2018, considerado um período seco, foram registradas onze amostras por ponto/local, totalizando onze horas de observação e registro. Nessa segunda parte da análise de poluentes, serão considerados alguns bairros, com foco especial nas concentrações de MP 2,5, devido aos impactos prejudiciais à saúde humana. Além disso, será investigada a relação dessas concentrações com variáveis.



Figura 5 - Equipamento utilizado nas coletas.

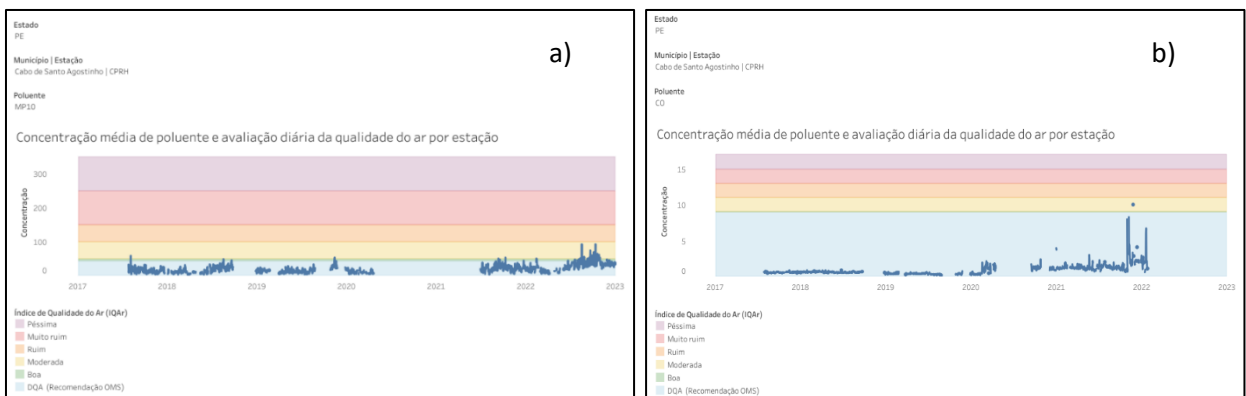


Fonte: Autores (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido ao volume considerável de dados gerados, optou-se por utilizar a análise anual para caracterizar a zona industrial da região. Na Figura 5, observa-se que a coleta de dados de poluentes teve início em 2017, e anteriormente não havia uma plataforma transparente para acessar essas informações. Dessa forma, à parceria com o IEMA, tornou-se possível disponibilizar esses dados para toda a sociedade interessada. No caso dos poluentes de MP10, não houve disparidades de picos que ultrapassassem o índice de qualidade do ar "bom". No entanto, a partir de 2021 e 2022, começaram a ultrapassar esse limite, atingindo a faixa "moderada". No caso do poluente CO, o gráfico permitiu observar que, em geral, houve uma baixa concentração desse poluente na área, mas em 2021 ocorreram alguns eventos pontuais em que os dados ultrapassaram o limite considerado moderado.

Figura 5- Concentração média de poluente e avaliação diária da qualidade do ar a) MP10 e b) CO.

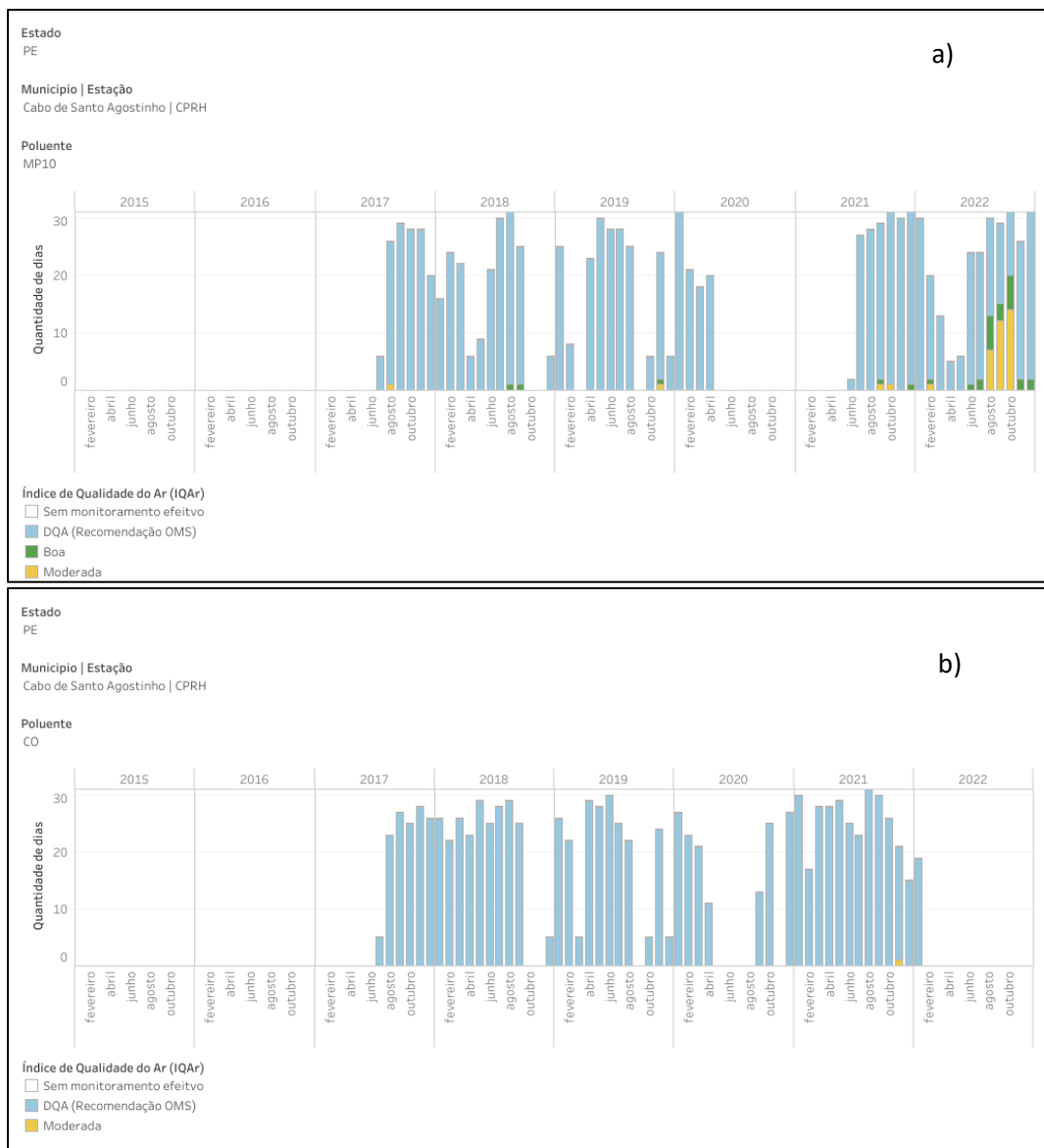


Fonte: IEMA (2023).



Na Figura 5, os dados diários são agregados mensalmente, o que facilita a observação do comportamento dos poluentes ao longo das estações do ano. Por exemplo, é observado que os meses de inverno (entre junho e agosto) normalmente apresentam concentrações mais elevadas de material particulado. No entanto, no caso específico de Cabo de Santo Agostinho, a situação difere, uma vez que o período chuvoso predomina de abril a julho, enquanto os dados representativos do MP10 são registrados de agosto a outubro. Portanto, não parece haver uma relação clara entre a concentração de material particulado e as variáveis climáticas nesse contexto.

Figura 6- Dados diários condensado por mês a) MP10 e b) CO.



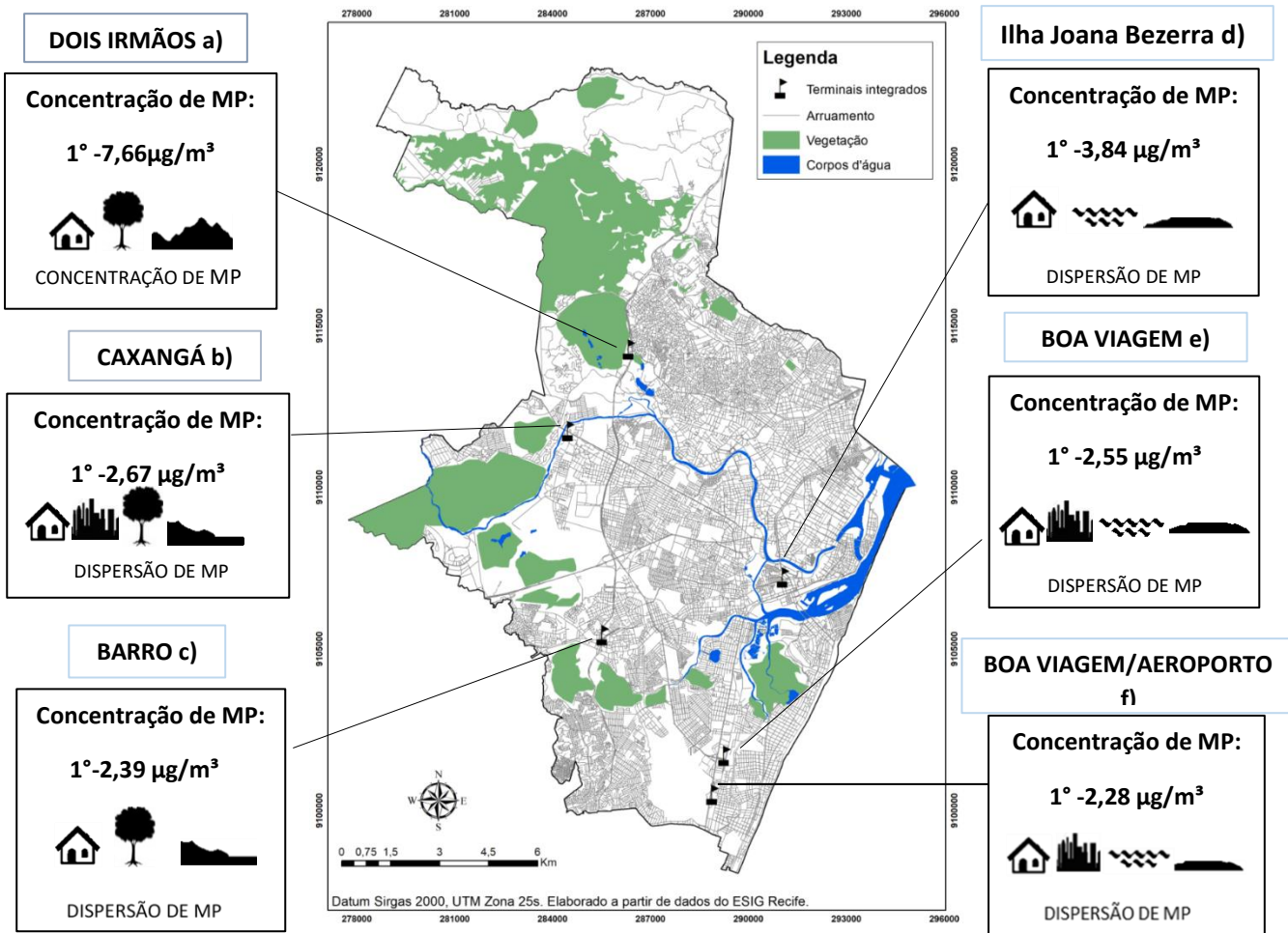
Fonte: IEMA (2023).



No ano de 2022, foi observado (Figura 5a) que somente o poluente MP10 excedeu os padrões intermediários, que indicam valores temporários estabelecidos para áreas com altos níveis de poluição. Em contraste, na (Figura 5.b), não foram registradas quaisquer violações desde 2017 até 2022.

Na coleta primária realizada em uma zona urbana nos bairros do Recife, devido a restrições de equipamentos e ausência de estações de monitoramento do ar, foi possível coletar apenas dados do poluente MP 2,5. Por meio dessa avaliação, foi observado que o bairro de Dois Irmãos (figura 7.a) apresenta uma concentração mais elevada em comparação aos demais bairros analisados, isso inclui interferência de temperatura, umidade e velocidade de vento. No entanto, é importante ressaltar que esses valores ainda estão dentro dos limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o que significa que não ultrapassam os níveis considerados prejudiciais à saúde humana.

Figura 7- Análise da concentração de material particulado (MP) por períodos nos bairros do Recife-PE, destacando as características da morfologia urbana.



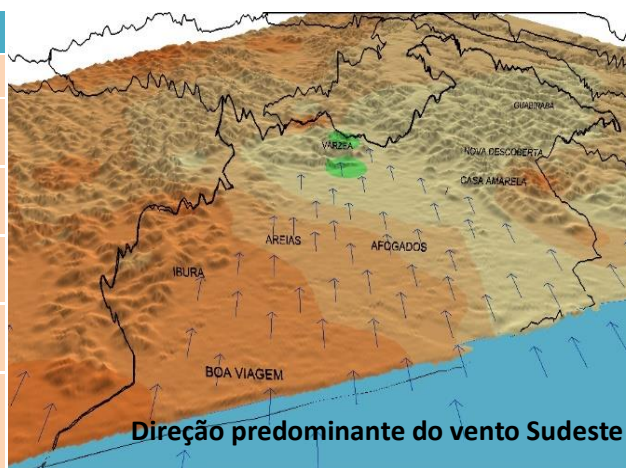


Fonte: Autores (2023).

Na figura 7.b, embora a concentração não ultrapasse os limites permitidos, observam-se características que podem interferir, como a presença de edificações unifamiliares e multifamiliares, vegetação e uma área próxima à encosta. O vento nesse ambiente é notavelmente canalizado, pois está localizado em uma área propícia à entrada de vento, conforme ilustrado na imagem da figura 8. Na figura 7.c, o bairro é caracterizado pela ausência de significativas barreiras, tornando-se propícia para a dispersão de poluentes, o que é favorável nesse contexto. Na ilha Joana Bezerra, conforme representado na figura 7.d, destaca-se por características distintas em comparação com as demais áreas, incluindo sua proximidade ao mar, predominância de residências unifamiliares e topografia plana, favorecendo o eficiente processo de dispersão de material particulado. A figura 8, é evidente a entrada dos ventos alísios de sudeste, o que contribui para facilitar a dispersão mencionada anteriormente. Nas figuras 7.e e 7.f, observam-se características como a presença de residências unifamiliares e multifamiliares, topografia plana e proximidade ao mar, tornando essas áreas propícias para atuar como locais dispersores. Além disso, estão estrategicamente localizadas na parte central de entrada de ventos, favorecendo o processo de dispersão (figura 8).

Figura 8- Direção e velocidade do vento da coleta dos bairros e ilustração da dinâmica do vento. Visualização em 3D do Recife-PE elaboração Anjos (2020).

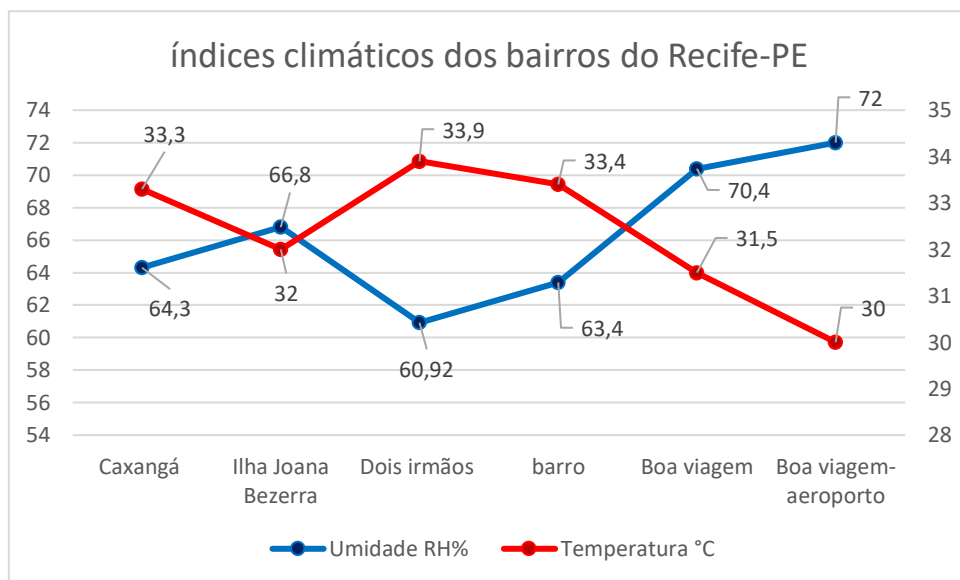
Vento	Direção	Velocidade
Caxangá	Norte-Nordeste	2,10m/s a 3,60 m/s
Ilha Joana Bezerra	Norte-Nordeste	2,10m/s a 3,60 m/s
Dois irmãos	Nordeste (NE) e a Norte-Nordeste (NNE)	2,10m/s a 3,60 m/s
barro	Sudeste (SE) e a Leste-Sudeste (ESE)	2,10m/s à 3,60 m/s
Boa viagem	Leste-Nordeste.	2,10m/s a 3,60
Boa viagem-aeroporto	sul-sudoeste	0,50m/s e 2,10m/s



Fonte: dados de vento dos locais os autores e Direção do vento (Anjos,2020).

Entre as variáveis climáticas, destaca-se o bairro Dois Irmãos (figura 9) com uma elevada média de temperatura de 33,9°C, associada a uma concentração mais significativa de material particulado (MP). A umidade nesse local foi registrada em 60,92%. A peculiaridade desse ambiente sugere a necessidade de estudos adicionais para verificar se, de fato, é uma área de concentração. A presença de barreiras naturais, como morros, e a proximidade de remanescentes de mata atlântica desafiam a teoria de concentração, indicando uma complexidade que merece uma investigação mais aprofundada.

Figura 9- Dados de umidade e temperatura dos bairros em análise.



Fonte: os autores (2023).

Os bairros que registraram temperaturas mais amenas foram localizados em Boa Viagem e Boa viagem/Aeroporto, variando entre 30°C e 31°C. Devido à sua proximidade com o mar, essa área é influenciada pela amenização proporcionada pelas brisas marítimas. Boa Viagem destaca-se pela maior densidade de ocupação e pela taxa mais elevada de verticalização na cidade. Esses resultados corroboram as conclusões de Moreira et al. (2021). No estudo, foi observada uma variação noturna da temperatura do ar em Boa Viagem, que excede 1°C ao longo de toda a noite. Essa variação é mais acentuada entre 0 e 6 horas, atingindo o pico máximo às 5 horas da manhã (3,2 °C). Durante o período diurno, os valores revelam a configuração de uma Ilha de Frescor Urbana em Boa Viagem, possivelmente devido à sua proximidade mais acentuada com o Oceano Atlântico. Nos bairros restantes, as variáveis climáticas, como a temperatura, mantiveram-se em uma média de 33,0°C, enquanto a umidade permaneceu em

média entre 63% e 66%, sem ultrapassar os limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para a umidade.

A investigação da relação entre variáveis climáticas e material particulado (MP) continua a demandar estudos mais aprofundados. Nesse contexto, é imperativo ressaltar que o órgão encarregado da qualidade do ar deve intensificar seus esforços nesse domínio não só em áreas industriais como também na parte urbana da cidade, especialmente considerando a situação que Recife apresenta desafios únicos, uma vez que a cidade é classificada como a 16ª mais vulnerável aos impactos das mudanças climáticas globalmente (SANTOS MELO et al., 2022). Essa vulnerabilidade pode acentuar os potenciais efeitos adversos da relação entre variáveis climáticas e MP. Além disso, Recife, como a capital mais desigual do Brasil, enfrenta consideráveis desafios socioeconômicos (IBGE, 2020). Essa disparidade social pode influenciar e ser influenciada pela qualidade do ar, tornando a interseção entre variáveis climáticas, poluição atmosférica e aspectos sociais um campo crucial para uma compreensão mais completa e efetiva das questões ambientais na região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As duas abordagens exploradas neste artigo são complementares, pois fornecem informações importantes sobre diferentes aspectos da poluição atmosférica. A análise da zona industrial permite compreender a dinâmica dos poluentes nesse local específico, considerando a atividade industrial e as fontes de emissão presentes. Por outro lado, a análise na zona urbana dos bairros do Recife, permite entender os impactos do material particulado nesses locais mais próximos às áreas residenciais e comerciais, identificando possíveis vulnerabilidades. Ao considerar a zona urbana, é possível avaliar a exposição da população aos poluentes e entender os potenciais impactos na saúde e no bem-estar das pessoas que vivem e trabalham nessas áreas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA Europeia do Ambiente. Poluição Atmosférica, 2020. Disponível em:

<<https://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro>>. Acesso em: 17 mar.2023.

ALCÂNTARA, A.C. Inserção de Variáveis Meteorológicas na Previsão de Poluentes Atmosféricos Utilizando Técnicas Computacionais Inteligentes na Região Metropolitana do Recife. 2019. Dissertação. (Mestrado em engenharia de sistema), Universidade de Pernambuco, 2019.

- ALVES, W. S.; MARIANO, Z. F. A Influência dos Fatores Geoecológicos e Geourbanos No Clima Urbano Deiporá-Go: Uma Análise A Partir Dos Métodos De Correlação E Regressão Linear. Revista brasileira de climatologia, v. 19, p. 319-334, 2016.
- ANJOS, Rafael Silva; WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque; NÓBREGA, Ranyére Silva. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 018-034, fev. 2020. ISSN 1984-2295. Disponível em:<<https://revistasdemo.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242040/34787>>. Acesso em: 10 nov. 2023. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p018-034>.
- BRAZ, S. N.; LONGO, R. M. Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica. Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares, v. 2, p. 1–21, 2021.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (2016) Emissões veiculares no estado de São Paulo 2016. São Paulo: CETESB. 214 p.
- FERNANDES, T.; HACON, S. D. S.; NOVAIS, J. W. Z. Mudanças Climáticas, Poluição Do Ar E Repercussões Na Saúde Humana: Revisão Sistemática. Revista Brasileira de Climatologia, v. 28, n. 1, p. 138–164, 2021.
- MAIA, J. L., NETTO, V. M., COSTA, B. L. G. Forma Urbana e Poluição Atmosférica: Impactos na cidade do Rio de Janeiro. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana (online) v.11. 2019. MONTEIRO, C.A.F. Teoria e clima urbano. São Paulo, n. 25, 1976. (Série, Teses e Monografias).
- MOREIRA, Ayobami Badiru ; NOBREGA, R. S. ; MENDES, T. G. L. ; SANTOS, P. F. C. ; ZAMPARONI, C. A. G. P. . O FATOR DE VISÃO DO CÉU E O CLIMA URBANO NA CIDADE DO RECIFE-PE/ BRASIL. Revista Brasileira de Climatologia , v. 28, p. 28-47, 2021.
- SANTOS, T.O. Biomonitoração da qualidade do ar na região metropolitana do Recife.2016. Tese. (Doutorado Tecnologias Energéticas e Nucleares), Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- SILVA, A. V. N.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, W.M. Emissão de Gases Poluentes por Veículos Automotivos em Recife? PE. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 08, p. 243-257, 2015.
- Yuan, Chao et al. Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies. Building and environment. vol. 71 (2014).