

# **POLUIÇÃO DO AR, CONFORTO TÉRMICO E MORTALIDADE NO SEMIÁRIDO SETENTRIONAL NORDESTINO: ANÁLISE POR GRUPOS ETÁRIOS**

Mariana Andreotti Dias <sup>1</sup>

## **INTRODUÇÃO**

A poluição do ar é amplamente estudada por diversas áreas do conhecimento no mundo, cada área dispõe de métodos e teorias, muitas vezes, próprios, para a leitura complexa dos fenômenos climáticos e suas reverberações para a saúde humana. Isso se deve ao posto em que as doenças respiratórias crônicas impulsionadas por poluentes ocupam, quarto lugar no ranking de elevada mortalidade, segundo Organização Mundial de Saúde (WHO, 2020; Requia et al., 2018, 2020, 2024)

Além disso, a morbimortalidade causada pelos poluentes atmosféricos afeta grupos etários diversos e vulnerabiliza populações, sobretudo, as dos países do Sul do mundo (Ahmad et. al., 2021), sobrepondo riscos e vulnerabilidades às populações que historicamente vivem nestes contextos. Assim, a necessidade de investigações sobre o tema em territórios de ampla desigualdade é master, principalmente se houver a identificação de grupos mais afetados.

Diante de tais prerrogativas, operou-se para a investigação e análise da poluição do ar, índices de desconforto térmico e sua relação com a mortalidade por Covid-19, no Semiárido Setentrional Nordeste (SSN), região de ampla vulnerabilidade socioambiental. Por meio do cálculo dos índices térmicos diversos e modelos de regressão, busca-se identificar quais são os grupos etários majoritariamente acometidos pela poluição do ar e consequente mudança climática que afetam a saúde das populações nos municípios do SSN.

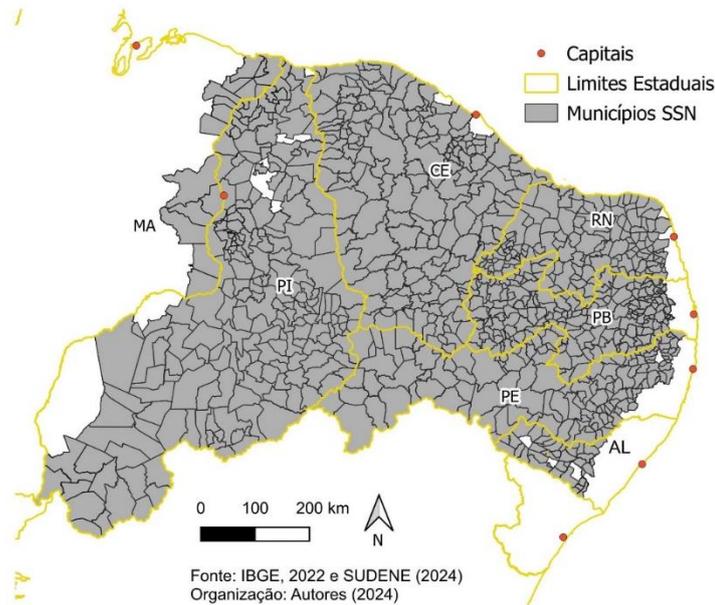
A área de estudo concentra-se no contexto socioespacial dos municípios posicionados ao norte do Rio São Francisco, pertencentes à Caatinga, em uma região denominada Semiárido Setentrional Nordeste (SSN). O SSN (Figura 1) conta com

---

<sup>1</sup> Pós Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Demografia (PPGDEM/UFRN) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Doutora e Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Paraná. [marianaandreotti@gmail.com](mailto:marianaandreotti@gmail.com)

927 municípios, pós Resolução n.176 de 03/2024, e população de cerca de 18 milhões de pessoas.

Figura 1 – Localização do SSN



Fonte: Autores (2024)

As populações convivem com a vulnerabilidade social - a histórica convivência com a seca, o processo de emigração, populações beneficiárias de programas sociais de transferência monetárias e de renda, colonização ostensiva, grandes latifúndios de terra, entre outros -, e a vulnerabilidade natural - precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm, índice de aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50, percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% considerando todos os dias do ano, entre outros.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A investigação tem como estratégia metodológica a combinação de métodos e técnicas com levantamento de dados (*survey* quantificado) e análise estatística em ambiente Rstudio. O estudo é composto pelos seguintes dados e fontes:

1) Dados referentes a COVID-19 são provenientes do DATASUS em intervalos compatíveis com o início e término da pandemia (1 março de 2020 até 30 de abril de 2021); 2) Dados referentes aos poluentes atmosféricos, como material particulado (PM<sub>2.5</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) foram resgatados de modelo de reanálise global *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS – Near Real

Time); 3) Variáveis ambientais compostas por direção do vento, temperatura e ponto de orvalho também para o mesmo período; por fim, 4) Variáveis sociodemográficas do DATASUS, sendo: anos de estudo, sexo, raça/cor, idades; e, por fim, equipamentos de saúde – oferta de leitos hospitalares e profissionais de saúde, particulares e do SUS.

A identificação do conforto ou desconforto térmicos vivenciados pelos indivíduos pautou-se em Coccolo et al., 2016; Requia et al., 2024 sendo, eles: Índice de Desconforto (DI), Temperatura Efetiva Líquida (NET), Humidex (H) e Índice de Calor (HI).

Os índices térmicos são medidas elaboradas para refletir a complexa interação de fatores meteorológicos que afetam a percepção humana da temperatura. A exposição as altas e baixas temperaturas pode afetar o sistema cardiovascular, culminando em casos de ataques cardíacos e falência do miocárdio (Requia et al., 2024; Kaldur et al., 2016).

Os índices de conforto térmico disponíveis na literatura científica são diversos, de equações lineares, térmicas, até empíricas. Para o presente estudo, fez-se uso de modelo já testado por pesquisadores no Brasil (Requia et al., 2024), que consideraram métricas específicas para o contexto tropical daqui.

Ademais, após a primeira parte e resultados, foram gerados diversos modelos de regressão linear incluindo todos os índices de conforto térmico, previamente gerados, e suas relações/interações com cada grupo etário populacional, com faixas etárias, com raça/cor e com anos de estudo.

## **PORQUE, ONDE E PARA QUEM INVESTIGAR POLUIÇÃO DO AR E DOENÇAS?**

A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2020) estima que os poluentes atmosféricos, principalmente os pertencentes ao grupo das partículas finas, como PM<sub>2.5</sub>, contribuem para a mortalidade de pelo menos 800 mil indivíduos prematuros por ano (Anderson et. al., 2012). O órgão também coloca que a poluição atmosférica opera para um quadro de pelo menos 20 mil óbitos/ano, superando em cinco vezes o número de óbitos pelo tabagismo ambiental/passivo, assim como, a poluição em ambientes internos, com mais de 10 mil óbitos por ano (Arbex et al., 2012)

Por serem materiais com diâmetros muito finos, os materiais particulados, entram no sistema respiratório facilmente, ademais, conforme indicam Anderson et. al., (2012)

os materiais particulados finos causam morbidade e mortalidade respiratória por promoverem um estresse oxidativo e inflamatório com a liberação de células e mediadores inflamatórios (citocinas, quimiocinas e moléculas de adesão) (Arbex et al., 2012) que leva à remodelação da anatomia pulmonar e fisiológica.

A relação entre os poluentes atmosféricos finos e a Covid-19 também é positiva pois as doenças cardiopulmonares cursam com inflamações pulmonares crônicas, sendo o novo coronavírus um agravante para a mortalidade. Em estudo realizado para todos os municípios do Brasil, Damasceno et al., (2023) identificaram associação entre  $PM_{2.5}$  e mortes por Covid-19, em que, cada incremento de  $1 \mu g/m^3$ , na média de longo prazo de  $PM_{2.5}$ , contribui para um aumento de 10,22% (IC 95%: 9,35; 11,09) em mortes por Covid -19.

Já a inclusão da problemática do estresse térmico na análise e incremento na mortalidade por COVID-19 ainda não fora testada. Os estudos já realizados testaram a relação entre variáveis ambientais e o risco à mortalidade por doenças cardiorrespiratórias para grupos etários específicos, como, pessoas maiores de 65 anos (Muggeo e Hajat, 2009; Moraes et. al., 2021). Assim, existe uma lacuna na identificação mais qualificada dos grupos mais vulneráveis, sobretudo os já identificados, pessoas maiores de 65 anos, pois outras comorbidades já são do contexto destes, implicando em possíveis falso-positivo quando da análise de risco relativo associado a estresse térmico.

No contexto do SSN, elevada desigualdade e ampla vulnerabilidade socioambiental, os poluentes atmosféricos e a mortalidade por doenças cardiorrespiratórias e Covid-19 já foram investigados (Dias et. al., 2024; Damasceno et al., 2024; Silva et al., 2024) apresentando associações importantes, como: incremento de  $1,27 g/m^3$  na média de longo prazo para as mortes por Covid-19 e relação entre variáveis sociodemográficas e alta mortalidade por Covid-19.

Além disso, houve associação entre variáveis climáticas e a redução do impacto da enfermidade, indicando a necessidade de investigar o quanto os elementos naturais interferem na saúde humana implicando em enfermidades ou não. Dentro do SSN também foram identificados (Dias et. al., 2024) para os estados do Alagoas, Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte, relação entre mortalidade por Covid-19 e elevada desigualdade social.

Assim, identificar dentro do contexto sociodemográfico do SSN quem foram os grupos etários de indivíduos mais vulneráveis a mortalidade à Covid-19 incluindo a

relação com o desconforto térmico e os poluentes, é qualificar a leitura sobre territórios e sujeitos mais suscetíveis aos riscos e vulnerabilidades.

Considerando que as populações em risco são aquelas que estão expostas aos poluentes a longo prazo e que irão apresentar sintomas respiratórios, diminuição da função pulmonar, uso mais frequente de medicamentos, utilização recorrente de cuidados de saúde e maior risco de mortalidade (Anderson et. al., 2012). É importante compreender se em contextos socioespaciais precários, onde os riscos já fazem parte da realidade das populações, se há sobreposições de riscos, indicando possível precariedade de serviços de atenção à saúde e gestão municipal.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Relação mortalidade por Covid-19 com índices de conforto térmico - As análises realizadas acerca das relações/interações entre os índices de conforto térmico e mortalidade por Covid-19, retornaram associações positivas, sobretudo, para o Índice de Calor (HI). Este apresentou associação para grupos etários entre 46 e 121 anos, tanto para mulheres como para homens, sendo o grupo de referência. O risco mais elevado foi identificado para faixas etárias mais altas, de 86 a 121 anos entre homens e mulheres (IC 0.056313/ p: 0.00218 e IC 0.057697/ p: 0.00197, respectivamente).

Relação raça/cor com índice de conforto térmico - As interações considerando a variável raça/cor generalizada, sem especificar grupos etários, indicaram que “Indígenas” e “Ignorado” tem significância (IC 0.164163 e p: 0.014594; IC -0.132379, p: < 2e-16, respectivamente) quando associadas ao Índice de Calor (HI). Ao considerar os grupos etários, apresentam coeficientes significativos, mulheres entre 1 a 5 anos, pretas (p: 0.042722) e mulheres entre 46 e 55 anos, amarelas, indicando que o impacto do índice térmico, especificamente o Índice de Calor (HI), é maior em relação ao grupo de referência, homens e mulheres de 86 a 121 anos. Já a interação entre a faixa etária de 26-35 anos de homens, com variável raça/cor “Ignorado” apresentou um efeito substancial para o Índice de Calor (HI), sugerindo que esse grupo têm um impacto maior em relação ao grupo de referência.

Relação anos de estudo com índice de conforto térmico - Ao associar a variável anos de estudo, a relação entre as faixas etárias e o Índice de Calor (HI) apresentou elevada significância para a mortalidade por Covid-19. As faixas etárias de 45 a 55 para homens, p = 0.0227, e para mulheres de 86 a 121 anos, p = 0.0187. Isso sugere que,

nessas faixas etárias específicas, a escolaridade pode moderar a relação entre a mortalidade por Covid-19 e o índice de temperatura. Os demais índices, especificamente, Índice de Desconforto (DI) e Humidex (H) apresentaram elevada associação, estando, assim, diretamente relacionados com a mortalidade por Covid-19. Esses resultados indicam que a escolaridade desempenha um papel importante na relação entre a mortalidade por Covid -19 e o desconforto térmico, especialmente em certas faixas etárias.

Relação mortalidade por Covid-19 com leitos e profissionais particulares e do SUS – apresentaram significâncias ( $p = 0.043012$ ,  $p = 0.003712$ , respectivamente) principalmente para o grupo etário de 1 a 5 anos homens. Os demais grupos e associações foram negativas.

Relação índice de conforto térmico com poluentes atmosféricos e mortalidade por Covid-19 - Em relação ao poluente atmosférico material particulado de diâmetro inferior a 2,5 micrometros ( $\mu\text{m}$ ), o  $\text{PM}_{2.5}$ , as análises indicam elevada associação com mortalidade por Covid -19 em todas as faixas etárias e sexo. Algumas faixas etárias apresentaram efeitos significativos, como para a maioria das faixas etárias dos homens de 1 a 5 anos/26 a 35 anos/36 a 45 anos/46 a 55 anos/56 a 65 anos/66 a 85 anos; e mulheres de 26 a 35 anos/36 a 45 anos/46 a 55 anos/66 a 85 anos/86 a 121 anos, sendo os mais influenciados pelo poluente. Baixa relação foi encontrada para mulheres de 1 a 5 anos e homens de 86 a 121 anos. Os poluentes dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e ozônio ( $\text{O}_3$ ) não retornaram significância para nenhuma faixa etária, nem variáveis de controle.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As análises indicaram forte relação entre a mortalidade por Covid-19 e o estresse térmico causado, sobretudo, pelo calor extremo (*heat index – HI*). Os grupos mais afetados foram os homens, na maioria das faixas etárias e mulheres que se autodeclararam pretas. Tais resultados corroboram com outras pesquisas já realizadas para a área de estudo, indicando que o clima da região, atrelado com os poluentes atmosférico, que também retornam com positiva associação para a mortalidade, asseveram mais ainda os quadros de vulnerabilidade social e ambiental do SSN.

Outros modelos podem ser ainda testados, para capturar uma maior variabilidade entre as faixas etárias e os poluentes, incluindo variáveis sociodemográficas, como a renda, RDPC e Gini.

**Palavras-chave:** Semiárido brasileiro; Mortalidade COVID-19; Poluentes Atmosféricos; Grupos Etários.

## **AGRADECIMENTOS**

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do Pos-Doutoramento junto ao Programa de Pós Graduação em Demografia (PPGDEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e ao Centro de Estudos em Meio Ambiente e Saúde Pública da Fundação Getúlio Vargas (FGVcemasp) que desenvolve discussões e métodos para a análise socioambiental.

## **REFERÊNCIAS**

ABDO ARBEX, M. et al. **A poluição do ar e o sistema respiratório\* Air pollution and the respiratory system** Artigo de Revisão *J Bras Pneumol.* [s.l: s.n.].

AHMAD, N. A. et al. Air pollution effects on adult mortality rate in developing countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 7, p. 8709–8721, 1 fev. 2021.

ANDERSON, J. O.; THUNDIYIL, J. G.; STOLBACH, A. **Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health.** *Journal of Medical Toxicology*, jun. 2012.

COCCOLO, S. et al. **Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards.** *Urban Climate* Elsevier B.V., , 1 dez. 2016.

DAMASCENO DA SILVA, R. M. et al. Greenness and Hospitalization for Cardiorespiratory Diseases in Brazil. **Environmental health perspectives**, v. 132, n. 6, p. 67006, 1 jun. 2024.

DAMASCENO, R. M. et al. Air Pollution and COVID-19 Mortality in Brazil. **Atmosphere**, v. 14, n. 1, 1 jan. 2023.

DE MORAES, S. L. et al. Meteorological variables and air pollution and their association with hospitalizations due to respiratory diseases in children: A case study in São Paulo, Brazil. **Cadernos de Saude Publica**, v. 35, n. 7, 2019.

DIAS, M. A.; CASTELHANO, F. J.; DAMASCENO, R. M. **Poluição do ar e mortalidade por Covid-19 nos municípios do Semiárido Setentrional Nordestino.** [s.l: s.n.].

KALDUR, T. et al. The acute effects of passive heat exposure on arterial stiffness, oxidative stress, and inflammation. **Medicina (Lithuania)**, v. 52, n. 4, p. 211–216, 2016.

MUGGEO, V. M.; HAJAT, S. Modelling the non-linear multiple-lag effects of ambient temperature on mortality in Santiago and Palermo: A constrained segmented distributed lag approach. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 66, n. 9, p. 584–591, set. 2009.

REQUIA, W. J. et al. Global Association of Air Pollution and Cardiorespiratory Diseases: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Investigation of Modifier Variables. **American Journal of Public Health**, v. 108, p. S123–S130, 1 abr. 2018.

REQUIA, W. J. et al. Risk of the Brazilian health care system over 5572 municipalities to exceed health care capacity due to the 2019 novel coronavirus (COVID-19). **Science of the Total Environment**, v. 730, 15 ago. 2020.

REQUIA, W. J. et al. Thermal stress and hospital admissions for cardiorespiratory disease in Brazil. **Environment International**, v. 187, 1 maio 2024.

SILVA, R. M. D. DA et al. POLUIÇÃO DO AR E COVID-19: ANÁLISE DA MORTALIDADE NA REGIÃO NORTE DO BRASIL. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, p. e73366, 14 maio 2024.