


INFLUÊNCIA DO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO E DA UMIDADE RELATIVA NA MORTALIDADE POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS: UM ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS – MA

INFLUENCE OF RAINFALL AND RELATIVE HUMIDITY ON MORTALITY FROM RESPIRATORY DISEASES: A CASE STUDY FOR THE MUNICIPALITY OF SÃO LUÍS – MA

INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES Y LA HUMEDAD RELATIVA EN LA MORTALIDAD POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS: UN ESTUDIO DE CASO PARA EL MUNICIPIO DE SÃO LUÍS – MA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n7-369>

Data de submissão: 01/07/2025

Data de publicação: 31/07/2025

Amanda Caroline da Silva Buna

Graduada em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Maranhão

E-mail: eng.amandabuna@outlook.com

Jonas Jansen Mendes

Doutor em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Federal do Maranhão

E-mail: jonas.jansen@ufma.br

Isabelle Maria Veloso Braz

Graduanda em Medicina

Instituição: Faculdade de Ciências e Saúde Edufor (Idomed)

E-mail: isabellemaria1425@gmail.com

Narla dos Reis Bacelar Chaves

Graduanda em Medicina

Instituição: Faculdade de Ciências e Saúde Edufor (Idomed)

E-mail: narla_bacelar@hotmail.com

Maria do Rosário Oliveira dos Anjos

Mestre em Anatomia Patológica

Instituição: Faculdade de Ciências e Saúde Edufor (Idomed)

E-mail: rosariodosanjos955@gmail.com

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar a influência da precipitação pluviométrica e da umidade relativa do ar na mortalidade por doenças respiratórias em São Luís (MA), entre julho de 2021 e junho de 2024. A pesquisa fundamenta-se em conceitos da biometeorologia e investigações sobre os efeitos das mudanças climáticas na saúde coletiva, os quais indicam que variáveis atmosféricas podem agravar doenças respiratórias em grupos vulneráveis. Trata-se de um estudo quantitativo exploratório, baseado em dados de óbitos por Doenças do Aparelho Respiratório obtidos junto ao Serviço de Verificação de Óbitos (SVO), correlacionados com informações meteorológicas da Estação da Universidade Estadual

do Maranhão. A análise estatística foi realizada por meio da correlação de Pearson e ajuste polinomial. Os resultados revelam ausência de associação estatística significativa entre as variáveis climáticas e a mortalidade na população geral. Contudo, ao realizar um recorte específico para a população idosa (60+), foi identificada uma correlação direta entre essas variáveis climáticas e o aumento de óbitos. A investigação reforça a importância da integração entre dados meteorológicos e políticas públicas de saúde, especialmente nos períodos de transição sazonal. A pesquisa com abordagem interseccional entre clima e saúde urbana, contribui com subsídios para políticas públicas e estratégias de prevenção.

Palavras-chave: Doenças Respiratórias. Umidade Relativa. Índice Pluviométrico. Saúde Pública. Biometeorologia.

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of rainfall and relative humidity on mortality from respiratory diseases in São Luís, Maranhão, between July 2021 and June 2024. The research is based on concepts from biometeorology and research on the effects of climate change on public health, which indicate that atmospheric variables can aggravate respiratory diseases in vulnerable groups. This is an exploratory quantitative study based on data on deaths from Respiratory Tract Diseases obtained from the Death Verification Service (SVO), correlated with meteorological information from the Maranhão State University Station. Statistical analysis was performed using Pearson's correlation and polynomial adjustment. The results reveal no statistically significant association between climate variables and mortality in the general population. However, when specifically focusing on the elderly population (60+), a direct correlation was identified between these climate variables and the increase in deaths. The research reinforces the importance of integrating meteorological data and public health policies, especially during seasonal transitions. This research, with its intersectional approach to climate and urban health, contributes to public policy and prevention strategies.

Keywords: Respiratory Diseases. Relative Humidity. Rainfall. Public Health. Biometeorology.

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo analizar la influencia de las precipitaciones y la humedad relativa en la mortalidad por enfermedades respiratorias en São Luís, Maranhão, entre julio de 2021 y junio de 2024. La investigación se basa en conceptos de biometeorología e investigaciones sobre los efectos del cambio climático en la salud pública, que indican que las variables atmosféricas pueden agravar las enfermedades respiratorias en grupos vulnerables. Se trata de un estudio cuantitativo exploratorio basado en datos sobre muertes por Enfermedades del Tracto Respiratorio obtenidos del Servicio de Verificación de Muertes (SVO), correlacionados con información meteorológica de la Estación de la Universidad Estatal de Maranhão. El análisis estadístico se realizó mediante correlación de Pearson y ajuste polinomial. Los resultados no revelan una asociación estadísticamente significativa entre las variables climáticas y la mortalidad en la población general. Sin embargo, al centrarse específicamente en la población de edad avanzada (60+), se identificó una correlación directa entre estas variables climáticas y el aumento de muertes. La investigación refuerza la importancia de integrar los datos meteorológicos y las políticas de salud pública, especialmente durante las transiciones estacionales. Esta investigación, con su enfoque interseccional sobre el clima y la salud urbana, contribuye a las políticas públicas y las estrategias de prevención.

Palabras clave: Enfermedades Respiratorias. Humedad Relativa. Precipitaciones. Salud Pública. Biometeorología.

1 INTRODUÇÃO

O impacto das mudanças climáticas tornou-se cada vez mais evidente, com fenômenos extremos como enchentes, secas e ondas de calor afetando populações em todo o mundo. Em virtude disso, o debate climático tem obtido crescente importância nas agendas de políticas públicas e na pauta social atual.

A alternância das condições meteorológicas e dos padrões climáticos gera impactos na dinâmica ambiental e na fisiologia humana. Conforme Cirrus (2010), a biometeorologia estuda como as condições atmosféricas afetam direta e indiretamente os seres humanos e outros organismos. De acordo com Tromp (1979), a biometeorologia humana, estuda as interações entre fatores meteorológicos e o organismo humano, investigando como fatores como temperatura, umidade, pressão atmosférica e poluição do ar afetam o organismo humano.

As variações climáticas, entre outros fatores, podem suscitar a manifestação de determinadas doenças, devido a características como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, pressão atmosférica e ventos, que interferem no bem-estar das pessoas (OPAS, 2008).

As mudanças climáticas estão causando aumento de inundações, tempestades, secas e alterações na temperatura e, por conseguinte, aumentando a exposição a contaminantes, resultando, também, em problemas respiratórios (BRASIL, 2024). As doenças do aparelho respiratório, entre 2013 e 2017, são o segundo principal motivo de internações hospitalares no Brasil, com um total de 5.928.712 hospitalizações para esse período (ALEXANDRINO et al., 2022).

De acordo com o Governo do Estado do Maranhão (2025), em 2024, o Maranhão registrou 2.902 casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), com destaque para a região de São Luís, com 648 casos. Até maio de 2025, o Maranhão já registrou, neste ano, 1.776 casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), com 100 mortes confirmadas (G1 MA, 2025).

Em zonas urbanas, os efeitos da poluição atmosférica são especialmente intensificados entre os grupos mais vulneráveis, que incluem as crianças menores de cinco anos e indivíduos maiores de 65 anos de idade, principalmente quando ocorrem alterações climáticas, principalmente as inversões térmicas (OPAS, 2018). Desse modo, é necessário a realização de estudos que abordem os efeitos das variações climáticas na saúde da população.

De acordo com o médico infectologista Antônio Augusto, em entrevista ao G1 MA (2025), os picos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) são registrados sazonalmente, principalmente entre os meses de março e maio. Este período corresponde à estação de chuvas mais intensas no estado do Maranhão, o que aumenta o risco de desenvolvimento de pneumonia.

Através dessa pesquisa, objetiva-se analisar a relação entre o índice pluviométrico e umidade relativa com a morbidade decorrente de Doenças do Aparelho Respiratório (DAR), para o período compreendido entre julho de 2021 a junho de 2024, no município de São Luís - MA.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A relação entre clima e saúde pública tem despertado crescente atenção na produção científica, sobretudo diante dos impactos das mudanças climáticas sobre populações vulneráveis. Fatores ambientais e sociais combinam-se para definir os riscos à saúde, sendo fundamental compreender de que maneira as variáveis atmosféricas, como umidade e a precipitação, influenciam nos quadros de doenças respiratórias (NASCIMENTO e BERALDO, 2024).

De acordo com a Organização das Nações Unidas, as mudanças climáticas referem-se a variações estatisticamente significativas nos padrões de precipitação, temperatura, ventos e outros fenômenos meteorológicos, para um período extenso (NAÇÕES UNIDAS, 2024). Essas alterações são majoritariamente atribuídas às atividades antrópicas, especialmente à emissão de gases de efeito estufa (GEE). Entre os impactos observados estão o aumento da temperatura global média, o derretimento das calotas polares, a elevação do nível do mar e a intensificação de eventos climáticos extremos e desastres naturais, com consequências significativas sobre ecossistemas, biodiversidade, culturas e sociedades (IPCC, 2023).

No contexto urbano, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) destaca os impactos negativos sobre a saúde humana, nos meios de subsistência, infraestrutura, na segurança alimentar e hídrica. Há aumento da incidência de doenças diarreicas e transmitidas por vetores, agravamento de doenças respiratórias associadas à poluição atmosférica, além de maior ocorrência de conflitos, ferimentos e mortes resultantes da exposição a condições climáticas extremas, como secas e ondas de calor. Esses impactos tendem a ser mais intensos entre grupos vulneráveis considerando faixas etárias iniciais e finais (crianças e idosos, respectivamente) e populações socialmente marginalizadas.

As mudanças climáticas podem produzir impactos sobre a saúde humana por diferentes vias. Em um nível direto, incluem eventos como ondas de calor, inundações e furacões. Indiretamente, promovem alterações em ecossistemas e ciclos biogeoquímicos, que podem favorecer a incidência de doenças infecciosas, mas também de condições não transmissíveis, como desnutrição e transtornos mentais (OPAS, 2018).

Em consonância, Confalonieri (2005) argumenta que os impactos da crise climática extrapolam o campo ambiental, afetando profundamente a saúde coletiva. O autor enfatiza que alterações nos

padrões de temperatura e precipitação tem sido associada à intensificação de doenças respiratórias, infecciosas e cardiovasculares, exigindo abordagens intersetoriais no planejamento de políticas públicas.

A literatura empírica aponta diversos estudos que evidenciam os efeitos de variáveis como umidade relativa e precipitação nas doenças respiratórias. Em Presidente Prudente (SP), Grosso de Souza e Lima Sant'Anna Neto (2008) observaram que períodos com umidade abaixo de 60% estavam correlacionadas a picos de internações por problemas respiratórios, indicando que “as oscilações do tempo atmosférico causam ou agravam um emaranhado de sintomas e enfermidades”. Vasconcelos *et al.* (2011) também demonstraram que a alta umidade, combinada à má qualidade do ar, contribui para o agravamento de quadros de asma e bronquite, sobretudo em ambientes urbanos.

Diante da multiplicidade dos efeitos provocados pelas mudanças climáticas sobre a saúde humana, torna-se imprescindível integrar evidências científicas ao desenvolvimento de políticas públicas resilientes e intersetoriais. É necessário fortalecer ações de prevenção e adaptação, priorizando os grupos mais vulneráveis e promovendo ambientes urbanos mais saudáveis e sustentáveis.

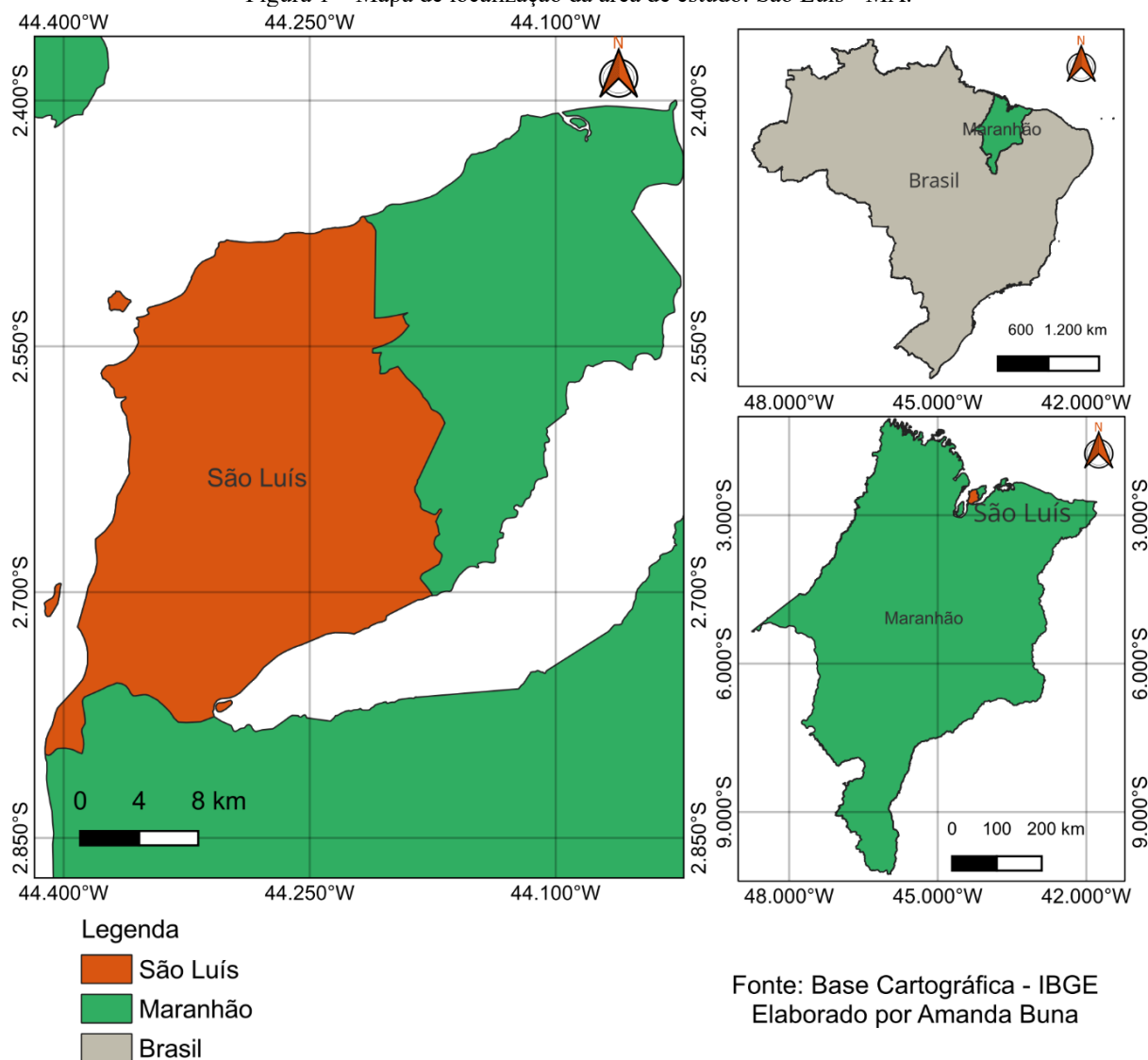
3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada no município de São Luís, capital do estado do Maranhão, localizada na Região Nordeste. A cidade está situada na porção ocidental da Ilha de São Luís, com coordenadas geográficas 02°28,21" e 02°39,34", latitude Sul e 44°07,49" e 44°20'59" de longitude Oeste. Limita-se ao Norte com Oceano Atlântico, ao Leste com a cidade de São José de Ribamar, a Oeste a Baía de São Marcos e ao Sul o Estreito dos Mosquitos.

São Luís ocupa cerca de 57% da área total da Ilha de São Luís, enquanto o restante do território é compartilhado pelos municípios de São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, que integram a Região Metropolitana de São Luís (SÃO LUÍS, 2011), como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo: São Luís - MA.



Fonte: Autores (2025).

Com base nas informações do último Censo Demográfico do IBGE (2022), São Luís possuía uma população de 1.037.775 habitantes, com densidade demográfica de 1.779,87 hab./km² (habitantes por quilômetro quadrado). O município está situado na mesorregião Norte Maranhense e na microrregião Aglomeração Urbana de São Luís, abrangendo uma área territorial de 583,063 km² (IBGE, 2022).

Conforme classificação climática do IBGE (2002), o clima de São Luís - MA é do tipo Tropical Zona Equatorial Quente, com temperatura média superior a 18°C durante todos os meses do ano e com regime hídrico semiúmido, com 4 a 5 meses secos. De acordo com as informações do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA, 2019), o clima é influenciado pela proximidade

com Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com estação chuvosa que ocorre de janeiro e junho e estação seca de julho a dezembro.

A cidade possui índice pluviométrico anual elevado, com expressivas variações nos totais mensais. O pico de precipitação ocorre no mês de abril, com valores que chegam a aproximadamente 475mm, enquanto os meses de julho a dezembro registram baixos índices, com valores entre 0mm e 50mm (SONDA, 2019).

Segundo esse mesmo órgão, a umidade relativa mínima do ar atinge seu valor máximo no mês de abril, em torno de 90%, e, de julho a dezembro, no período seco, a umidade relativa do ar apresenta seu mínimo. A temperatura média anual é de cerca de 26°C, com mínima mensal próxima de 22°C em julho e máxima próxima de 31°C em novembro.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICO

3.2.1 Dados de mortalidade

O universo amostral foi caracterizado com base em dados de registro de óbitos disponíveis em instituição de saúde pública – Serviço de Verificação de óbito (SVO) – e foi estratificada de acordo com as variáveis de interesse. A população alvo foi composta por indivíduos que apresentaram óbitos relacionados a doenças respiratórias (pneumonia, broncopneumonia, pneumopatia e tuberculose) na cidade de São Luís - MA.

Foram analisadas informações mensais entre julho de 2021 e junho de 2024 referentes à mortalidade por doenças respiratórias, considerando variáveis como idade, sexo e local de óbito.

3.2.2 Dados da Meteorológicos

Nesta pesquisa, foram analisadas duas variáveis meteorológicas: precipitação pluviométrica (mm) e umidade relativa do ar (%). Os dados foram obtidos a partir da Estação Meteorológica da Universidade Estadual do Maranhão, cuja Plataforma de Coleta de Dados está instalada no município de São Luís – MA, nas coordenadas geográficas 2°35' S e 44°12' W, com 62m e identificada pelo código ID 32003.

A série histórica utilizada compreende o período de julho de 2021 a junho de 2024, considerando os valores de precipitação máxima e umidade relativa mínima. A escolha deste intervalo temporal está alinhada aos registros de óbitos por doenças respiratórias incluídos na pesquisa. Para garantir consistência estatística e pela necessidade de utilizar dados referentes ao ano hídrico completo, foram desconsiderados os meses com dados ausentes (NaN), correspondentes ao início de 2021

(janeiro a junho) e ao segundo semestre de 2024 (julho a dezembro), totalizando um período com 3 anos hídricos completos, de julho de 2021 a junho de 2024.

3.2.3 Análise de Dados

Os dados foram tratados com técnicas estatísticas descritivas, quantitativas e exploratórias, com objetivo de analisar a relação entre os óbitos por doenças respiratórias e as variáveis meteorológicas abordadas na pesquisa.

Para tabulação, organização e processamento dos dados, utilizou-se o *software Microsoft Excel*. Utilizando o mesmo programa, calculou-se a soma das precipitações pluviométricas e média da umidade relativa, para os meses em estudos. Essas informações foram organizadas em gráficos e tabelas, com o intuito de permitir uma visualização detalhada dos dados ao longo dos meses analisados.

Na sequência, foi realizada a análise estatística de correlação, a fim de identificar o grau de associação entre as variáveis meteorológicas e os registros de óbitos. Para isso, aplicou-se a correlação de Pearson (R) e coeficiente de determinação (R²), através do *software Microsoft Excel*, conforme fórmula (1):

$$r = \frac{n \times \sum_{i=1}^n x_i \times y_i - \sum_{i=1}^n x_i \times \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \times \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \times \sqrt{n \times \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (1)$$

Onde:

R: coeficiente de correlação linear para uma amostra;

N: número de pares de dados;

X: variáveis independentes;

Y: variável dependente.

Apesar de amplamente utilizada, a interpretação dos coeficientes de correlação não possui consenso universal. O que se observa, na literatura, são recomendações orientativas, que podem variar conforme o contexto da pesquisa e a natureza dos dados. Para este estudo, adotaram-se os critérios de classificação propostos por Rumsey (2023), apresentados no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 - Classificação do coeficiente de correlação de Pearson (r).

r	Classificação
Exatamente -1	relação linear descendente perfeita (negativa)
-0,70	relação linear descendente forte (negativa)
-0,50	relação linear descendente moderada (negativa)
-0,30	relação linear descendente fraca (negativa)
0	ausência de relação linear
+0,30	relação linear ascendente fraca (positiva)
+0,50	relação linear ascendente moderada (positiva)
+0,70	relação linear ascendente forte (positiva)
Exatamente +1	relação linear ascendente perfeita (positiva)

Fonte: Adaptado pelos autores (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS DE PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA MÍNIMA

A análise dos dados de precipitação e umidade relativa mínima entre julho de 2021 e junho de 2024 revelou padrões sazonais bem definidos, com implicações importantes para a saúde pública.

O regime pluviométrico demonstra concentração de chuvas intensas nos primeiros meses do ano, especialmente entre fevereiro e abril, destacando-se os picos de março de 2023 (577,8 mm) e fevereiro de 2024 (488 mm). Já no período de julho a dezembro, observa-se uma redução acentuada das chuvas, com valores mínimos registrados em setembro de 2023 (0,2 mm) e setembro de 2021 (3,91 mm), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de Precipitação (julho/2021 a junho/2024)

Mês	2021	2022	2023	2024
Janeiro	NaN	183,4	370,2	259,4
Fevereiro	NaN	262,1	258,4	488
Março	NaN	327	577,8	460,2
Abril	NaN	276,8	461,4	289,6
Mai	NaN	239,4	210,8	255,26
Junho	NaN	142,2	213,6	148,51
Julho	132,6	153,2	89,6	NaN
Agosto	18,40	73	17,4	NaN
Setembro	3,91	10,4	0,2	NaN
Outubro	7,78	7,78	7,78	NaN
Novembro	16,56	49	16,56	NaN
Dezembro	44,54	116	16,8	NaN

Fonte: Autores (2025).

Essas oscilações podem influenciar diretamente os indicadores de saúde. A precipitação intensa e concentrada pode provocar enchentes, pressionando sistemas de escoamento e infraestrutura hospitalar. Além disso, durante o período chuvoso, há um aumento da umidade relativa do ar, que favorece o surgimento de micoses, dermatites e doenças pulmonares causadas por fungos.

Outro ponto crítico é o crescimento das arboviroses, como dengue, *Zika* e *Chikungunya*, devido à proliferação de vetores. Também ocorrem com mais frequência doenças de veiculação hídrica, como

leptospirose, hepatite A e gastroenterites, em decorrência da contaminação da água por agentes infecciosos.

Em contrapartida, a escassez de chuvas nos meses finais do ano, combinada com baixa umidade relativa, tende a agravar problemas respiratórios e cardiovasculares. Para esse período, a umidade relativa mínima também apresentou variações relevantes, com baixos índices registrados entre fevereiro e abril nos anos de 2023 e 2024, com destaque para março de 2024 (40,32%). Já os maiores valores ocorreram em maio e junho de 2024, atingindo 74,84% e 91,13%, respectivamente, conforme dados descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de Umidade Relativa Mínima (julho/2021 a junho/2024)

Mês	2021	2022	2023	2024
Janeiro	NaN	65,7775	54,38	53,23
Fevereiro	NaN	72,09941	49,29	44,28
Março	NaN	73,28267	47,94	40,32
Abril	NaN	57,13	48,13	47,13
Maiο	NaN	47,71	46,97	74,84
Junho	NaN	56,8	54,47	91,13
Julho	66	46,71	74	NaN
Agosto	59,319	67	59,3194	NaN
Setembro	56,802	50,73	56,8024	NaN
Outubro	55,537	40,32	57,68	NaN
Novembro	57,201	53	53,53	NaN
Dezembro	59,931	62,9	56,45	NaN

Fonte: Autores (2025).

Esses picos podem indicar exposição a fatores críticos, como calor extremo, aumento de poluentes ou eventos infecciosos ambientais. A ausência de partículas de água na atmosfera torna o ar mais seco, favorecendo o surgimento de doenças como rinite, asma, bronquite, resfriados e gripes, além de afetar outros sistemas do corpo humano. Isso reforça a importância da integração entre dados meteorológicos e estratégias de saúde pública.

4.2 NÚMERO DE ÓBITOS

A correlação entre condições climáticas e a saúde urbana é evidenciada pelos dados de mortalidade. Entre março e junho de 2024 foram registrados os maiores índices de óbitos por doenças respiratórias, com destaque para abril (226 casos) e maio (211 casos). Esses meses coincidem com os períodos de maior concentração de chuvas, compondo um ambiente propício para surtos respiratórios. Já o intervalo entre junho e setembro de 2022 apresentou valores abaixo da média, sugerindo que variações climáticas mais amenas podem contribuir para a redução da incidência dessas doenças.

Tabela 3 - Número de Óbitos por Doenças Respiratórias (julho/2021 a junho/2024)

Mês	2021	2022	2023	2024
Janeiro	NaN	292	176	174
Fevereiro	NaN	148	161	187
Março	NaN	176	174	205
Abril	NaN	167	162	226
Maio	NaN	192	176	211
Junho	NaN	182	204	156
Julho	178	201	197	NaN
Agosto	154	145	171	NaN
Setembro	151	139	193	NaN
Outubro	186	178	188	NaN
Novembro	170	157	156	NaN
Dezembro	165	164	166	NaN

Fonte: Autores (2025).

A capacidade de resposta das unidades de saúde também sofre influência direta das variações climáticas. Os picos de demanda por atendimento, internações e tratamentos especializados em períodos críticos exigem planejamento eficiente, alocação adequada de recursos e integração de dados epidemiológicos com informações meteorológicas. Nesse sentido, torna-se fundamental que estratégias de saúde pública considerem variáveis ambientais como ferramentas para previsão de surtos, definição de políticas de prevenção e fortalecimento da vigilância epidemiológica.

4.3 CORRELAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA COM OS CASOS DE ÓBITOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

A análise se concentra na relação entre precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e o número de óbitos mensais na cidade de São Luís (MA), no período de julho de 2021 a junho de 2024. Os dados revelam que não há uma correlação direta e consistente entre os índices climáticos e os padrões de mortalidade urbana, conforme demonstrado nas Tabelas 4 e 5, nos Gráficos 1 e 2, e nos Quadros 2 e 3. Ainda assim, há evidências de que as condições climáticas influenciam especialmente os casos de doenças respiratórias.

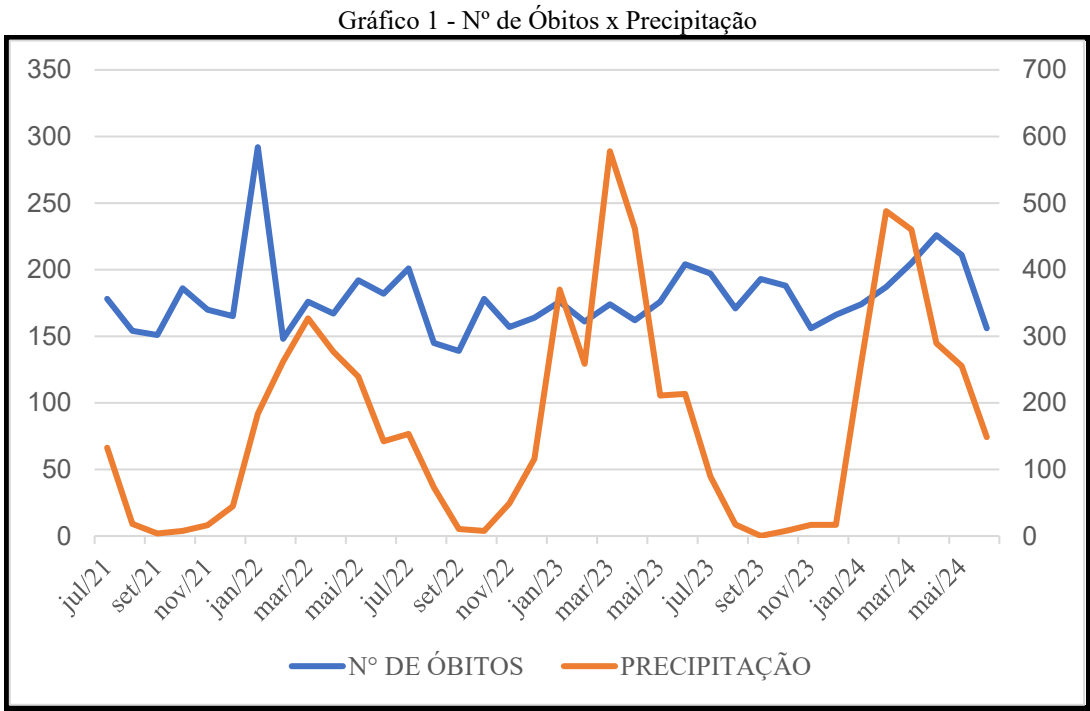
Tabela 4 - Precipitação X N° de Óbitos

Mês	2021		2022		2023		2024	
	Precipitação	N° de Óbitos	Precipitação	N° de Óbitos	Precipitação	N° de Óbitos	Precipitação	N° de Óbitos
Janeiro	NaN	NaN	183,4	292	370,2	176	259,4	174
Fevereiro	NaN	NaN	262,1	148	258,4	161	488	187
Março	NaN	NaN	327	176	577,8	174	460,2	205
Abril	NaN	NaN	276,8	167	461,4	162	289,6	226
Maio	NaN	NaN	239,4	192	210,8	176	255,26	211
Junho	NaN	NaN	142,2	182	213,6	204	148,51	156
Julho	132,6	178	153,2	201	89,6	197	NaN	NaN
Agosto	18,40	154	73	145	17,4	171	NaN	NaN
Setembro	3,91	151	10,4	139	0,2	193	NaN	NaN
Outubro	7,78	186	7,78	178	7,78	188	NaN	NaN

Novembro	16,56	170	49	157	16,56	156	NaN	NaN
Dezembro	44,54	165	116	164	16,8	166	NaN	NaN
Correlação	0,36		0,22		-0,19		0,36	

Fonte: Autores (2025).

A Tabela 4 apresenta os dados mensais de precipitação e número de óbitos. Observa-se que, mesmo em meses com altos índices pluviométricos, como março de 2023 (577,8 mm), o número de óbitos foi semelhante ao de meses menos chuvosos. Por outro lado, setembro de 2023, com apenas 0,2 mm de chuva, registrou um número elevado de óbitos (193). Essa alternância sugere que a relação entre chuvas e mortalidade é multifatorial. Através do Gráfico 1 é perceptível que não há correlação direta entre as duas variáveis.



Fonte: Autores (2025).

O Quadro 2 expõe os resultados das correlações estatísticas entre precipitação e número de óbitos, por ano.

Quadro 2 - Correlação Estatística por Ano		
Ano	Correlação Precipitação X Óbitos	Interpretação
2021	0,36	relação linear ascendente moderada (positiva)
2022	0,22	ausência de relação linear
2023	-0,19	ausência de relação linear
2024	0,36	relação linear ascendente moderada (positiva)

Fonte: Autores (2025).

A correlação entre essas duas variáveis oscilou significativamente de um ano para outro. Em 2021 e 2024 apresentou uma relação linear ascendente moderada, em que aumentos de precipitação coincidem com aumentos de óbitos em alguns meses. Chuvas intensas podem favorecer o aumento de doenças transmitidas por vetores, como dengue ou viroses sazonais.

Em 2022, de acordo com as informações do Quadro 2, a classificação dos resultados baseados nos valores apresentados por Rumsey (2023), sugere ausência de relação linear ou relação linear fraca. A baixa correlação sugere que outros fatores além do clima podem ter influenciado os padrões de mortalidade nesse ano.

Para o ano de 2023, observou-se uma correlação negativa e que, de acordo com a classificação dos resultados baseados nos valores apresentados por Rumsey (2023), classificada como a ausência de relação linear, a tendência indica que os meses mais secos estiveram associados à maior número de óbitos, evidenciando que a diminuição de precipitação pode impactar a saúde por meio de ressecamento do ar, a concentração de poluentes e maior transmissibilidade de doenças respiratórias.

A alternância entre correlação positiva e negativa ao longo dos anos revela que a relação entre chuvas e óbitos é multifatorial e sensível a condições secundárias, como nível de umidade relativa, temperatura média, políticas públicas e campanhas preventivas, por exemplo.

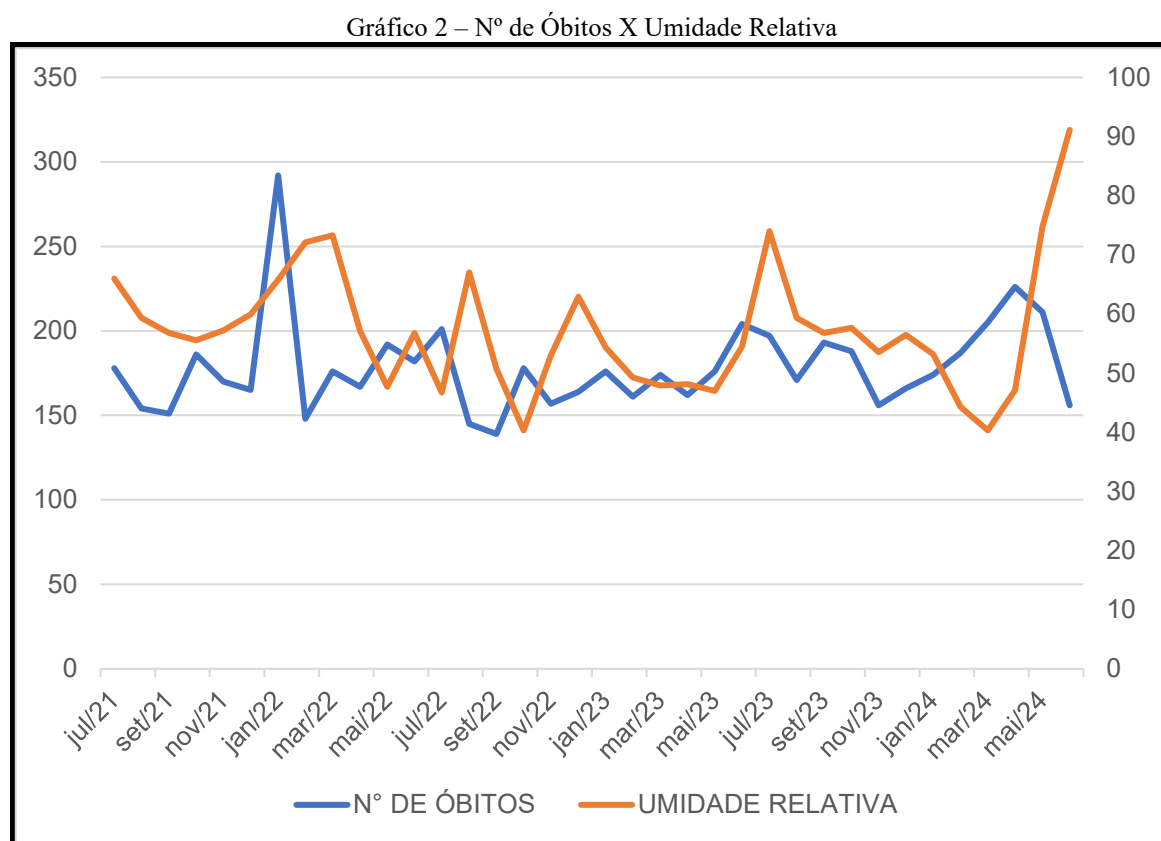
A Tabela 5 apresenta os dados mensais de umidade relativa do ar e número de óbitos. A relação entre essas variáveis também oscilou ao longo dos anos. Em 2022, por exemplo, a umidade variou de 40,32% a 73,28%, mas o número mais alto de óbitos ocorreu em janeiro (292), com umidade de 65,78%.

Tabela 5 – Umidade Relativa X N° de Óbitos

	2021		2022		2023		2024	
Mês	Umidade Relativa	N° de Óbitos	Umidade Relativa	N° de Óbitos	Umidade Relativa	N° de Óbitos	Umidade Relativa	N° de Óbitos
Janeiro	NaN	NaN	65,78	292	54,38	176	53,23	174
Fevereiro	NaN	NaN	72,1	148	49,29	161	44,28	187
Março	NaN	NaN	73,28	176	47,94	174	40,32	205
Abril	NaN	NaN	57,13	167	48,13	162	47,13	226
Maio	NaN	NaN	47,71	192	46,97	176	74,84	211
Junho	NaN	NaN	56,8	182	54,47	204	91,13	156
Julho	66	178	46,71	201	74	197	NaN	NaN
Agosto	59,32	154	67	145	59,32	171	NaN	NaN
Setembro	56,80	151	50,73	139	56,80	193	NaN	NaN
Outubro	55,54	186	40,32	178	57,68	188	NaN	NaN
Novembro	57,20	170	53	157	53,53	156	NaN	NaN
Dezembro	59,93	165	62,9	164	56,45	166	NaN	NaN
Correlação	0,14		0,01		0,52		-0,51	

Fonte: Autores (2025).

Os dados mostram que a relação entre umidade e número de óbitos não é consistente. Por meio do Gráfico 2 apresentado, é possível perceber que não há correlação direta entre as duas variáveis.



Fonte: Autores (2025).

O Quadro 3 expõe os resultados da correlação estatística entre precipitação e número de óbitos, por ano.

Quadro 3 - Correlação Estatística por Ano

Ano	Correlação Umidade X Óbitos	Interpretação
2021	0,14	ausência de relação linear
2022	0,01	ausência de relação linear
2023	0,52	relação linear ascendente moderada (positiva)
2024	-0,51	relação linear descendente moderada (negativa)

Fonte: Autores (2025).

A correlação entre essas duas variáveis oscilou significativamente de um ano para outro. Em 2021 apresentou uma correlação de 0,14 que, de acordo com os valores apresentados por Rumsey (2023), sugere a ausência de relação linear. Esse valor sugere leve tendência de aumento nos óbitos com maior umidade, mas o resultado é inconclusivo. Em 2022, com correlação de 0,01, o que demonstra ausência de relação linear entre a umidade e número de óbitos.

Para o ano de 2023, observou-se uma relação linear ascendente moderada (positiva), de 0,52, valor que indica que, nesse ano, meses com maior umidade estiveram associados a um número maior de óbitos, sugerindo que o agravamento de doenças respiratórias provocadas por ambientes úmidos, abafados e mal ventilados, favorecendo o crescimento de fungos e ácaros.

Em 2024, com valor de correlação de -0,51, observou-se uma relação linear descendente moderada (negativa), indicando que maior umidade pode estar associada a menor número de óbitos, possivelmente por reduzir a irritação das vias respiratórias, dispersar poluentes e atenuar sintomas de doenças respiratórias crônicas, como asma e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica - DPOC.

As variações nas correlações entre os anos reforçam que os padrões de mortalidade são influenciados por múltiplos fatores, como temperatura média, políticas públicas, campanhas preventivas e condições socioambientais. Embora os dados não comprovem causalidade, os indícios revelam que as condições de umidade e precipitação influenciam diretamente nos quadros de doenças respiratórias, especialmente em populações vulneráveis. A análise estatística demonstra associações relevantes que podem subsidiar estratégias de saúde pública voltadas à prevenção de doenças respiratórias em períodos climáticos críticos.

4.4 CORRELAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E UMIDADE COM OS CASOS DE ÓBITOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM IDOSOS (60+)

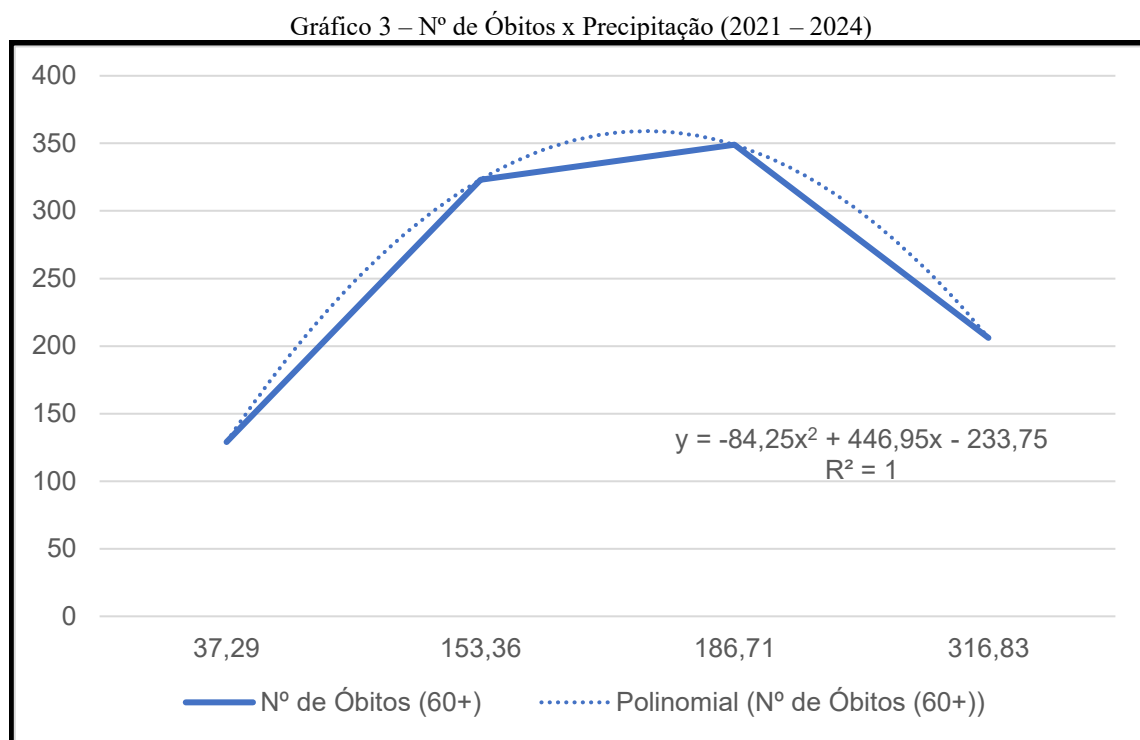
A Tabela 6, a seguir, apresenta a relação entre o número de óbitos de pessoas com 60 anos ou mais e a precipitação (mm), no período de 2021 a 2024.

Tabela 6 - Nº de Óbitos X Precipitação		
Ano	Nº de Óbitos (60+)	Precipitação (mm)
2021	129	37,29
2022	323	153,36
2023	349	186,71
2024	206	316,83

Fonte: Autores (2025).

De acordo com os dados, é possível observar que o número de óbitos aumenta à medida que a precipitação sobe de 2021 a 2023. No entanto, em 2024, apesar da maior precipitação do período (316,83 mm), houve redução dos óbitos. O pico de mortalidade ocorreu em 2023, com 349 óbitos, quando a precipitação foi de 186,71 mm.

Isso sugere que existe um intervalo crítico de precipitação (entre 150 mm e 190 mm) em que os efeitos adversos na saúde da população idosa são mais intensos. O Gráfico 3 expressa os dados contidos na Tabela 6.



Fonte: Autores (2025).

Há uma correlação positiva entre precipitação e óbitos até um ponto crítico (186,71 mm). Após esse ponto (em 2024, com 316,83 mm), os óbitos diminuem, sugerindo um efeito de saturação ou mitigação. A curva atinge o pico próximo de 186 mm de precipitação, o que marca o nível de maior vulnerabilidade para a população idosa.

A relação entre precipitação e óbitos não é linear, e sim parabólica, com um ponto de inflexão importante entre 180 e 190 mm. O gráfico acima evidencia uma relação não linear entre os níveis anuais de precipitação e o número de óbitos em idosos (60+), no período de 2021 a 2024. Observa-se um aumento acentuado dos óbitos com o crescimento da precipitação entre 37,29 mm (2021) e 186,71 mm (2023), onde se verifica o ponto máximo de mortalidade (349 óbitos). Curiosamente, em 2024, com precipitação ainda mais elevada (316,83 mm), o número de óbitos cai para 206. Essa inflexão sugere que há um limiar de precipitação que maximiza os impactos negativos à saúde dos idosos.

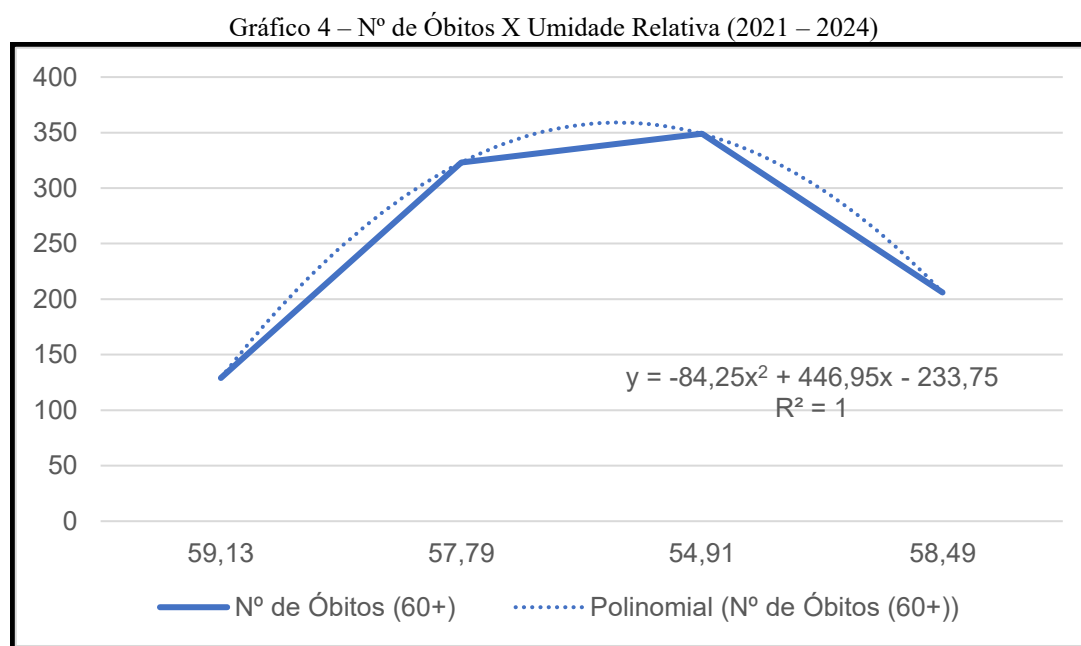
A seguir, a Tabela 7 relaciona o número de óbitos de idosos (60+) com a umidade relativa para os anos de 2021 a 2024.

Tabela 7 - Nº de Óbitos X Umidade Relativa		
Ano	Nº de Óbitos (60+) e crianças	Umidade Relativa (%)
2021	129	59,13
2022	323	57,79
2023	349	54,91
2024	206	58,49

Fonte: Autores (2025).

Os valores de umidade relativa variam entre 59,13% e 54,91%, representando os índices de umidade relativa média anual. Entre 2021 e 2023 houve um aumento acentuado nos óbitos de idosos à medida que a umidade relativa diminuiu. Em 2024, com pequeno aumento da umidade, observou-se uma redução significativa nos óbitos.

O Gráfico 4, abaixo, apresenta uma representação dos dados expressados na tabela 7.



Fonte: Autores (2025).

A curva polinomial do gráfico indica uma relação não linear entre as variáveis. O número de óbitos aumenta com a diminuição da umidade até certo ponto (mínimo de 54,91% em 2023), e depois começam a cair com a elevação da umidade em 2024. Isso sugere que níveis de umidade mais baixos (entre 54% e 56%) podem estar associados a condições mais adversas à saúde dos idosos, possivelmente relacionadas a doenças respiratórias, que são sensíveis a mudanças climáticas.

O modelo polinomial $-84x^2 + 446,95x - 233,75$ com $R^2 = 1$, indica ajuste perfeito aos dados fornecidos, contudo, devido a quantidade limitada de pontos, deve ser analisado com cautela.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados analisados revelam que, embora haja correlações moderadas em determinados anos, a precipitação pluviométrica isoladamente não se configura como variável determinante na oscilação dos índices de mortalidade por doenças respiratórias em São Luís. Apesar da ocorrência de chuvas intensas em alguns meses, não foram observadas associações estatísticas significativas entre os volumes de precipitação e o aumento de óbitos, sugerindo que seus efeitos sobre a saúde pública são

mais contextuais e indiretos. Embora eventos extremos de chuva possam impactar a saúde pública (por meio de enchentes, dificuldade de acesso a serviços ou agravamento de doenças), tais efeitos não se traduzem estatisticamente em aumento nos óbitos gerais ao longo do tempo, o que não podemos inferir sobre o aumento do número relativo a internações.

Por outro lado, a umidade relativa do ar demonstrou maior relevância na variação da mortalidade. Os meses mais secos concentraram maior número de óbitos, especialmente entre indivíduos mais vulneráveis, como idosos e crianças. Esse padrão pode estar relacionado à baixa qualidade do ar, ao desconforto térmico e à intensificação de doenças respiratórias infecciosas e crônicas em períodos de clima seco.

Entre 2021 e 2024, observou-se uma variação expressiva no número de óbitos do grupo vulnerável, em possível associação com a umidade relativa do ar. A curva polinomial ajustada aos dados sugere uma relação não linear entre as variáveis, indicando que a redução da umidade abaixo de 54,91%, está correlacionada com o aumento da mortalidade. Essa tendência reforça a necessidade de monitoramento climático como componente de estratégias de prevenção em saúde pública, especialmente para populações vulneráveis como os idosos.

Diante do exposto, ressalta-se a importância de integrar dados climáticos ao planejamento de ações de saúde pública, especialmente em períodos de transição sazonal, quando as populações mais frágeis podem enfrentar maior risco. Estratégias preventivas voltadas para momentos de baixa umidade podem contribuir para a redução da mortalidade por doenças respiratórias, particularmente em grupos etários avançados.

Por fim, recomenda-se o aperfeiçoamento metodológico por meio da inclusão de variáveis ambientais complementares, como temperatura média, níveis de poluentes atmosféricos, incidência de doenças específicas (como asma, pneumonia e viroses respiratórias), além de indicadores socioeconômicos e de infraestrutura urbana. Considerando que o período analisado compreende apenas três anos (julho de 2021 a junho de 2024), sugere-se ampliar a série temporal para permitir maior robustez estatística e captar oscilações sazonais ou tendências de longo prazo. A investigação de causas secundárias que potencialmente influenciam a evolução das doenças respiratórias, como campanhas de vacinação, acesso à saúde, densidade populacional, qualidade habitacional e mudanças no comportamento climático, também é essencial para uma abordagem mais integrada e eficaz no planejamento de ações públicas.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRINO, A. et al. Morbimortalidade por doenças do aparelho respiratório no Brasil: um estudo ecológico. *Revista Ciência Plural*, v. 8, n. 2, p. 1–21, mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Mudanças climáticas para profissionais de saúde: guia de bolso. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. 137 p.

CIRRUS. Em Clima de Saúde. *UNEMET Brasil*, Alagoas, n. 13, jan./jul. 2010. Disponível em: http://www.unemet.org.br/cirrus/edicoes/por/ed13/cirrus_13.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

CONFALONIERI, U.; MARINHO, P. Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Brasil. *Multiciência*, Campinas, n. 8, p. 48–64, maio 2007. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/confalonieri_mc_global_saude.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

G1 MA. MA registra 100 mortes por Síndrome Respiratória Aguda Grave. *G1 MA*, São Luís, 5 jun. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2025/06/05/ma-registra-100-mortes-por-sindrome-respiratoria-grave.ghtml>. Acesso em: 13 jun. 2025.

G1 MA. MA registra 89 mortes por Síndrome Respiratória Grave este ano; Hospital de Campanha vai atender pacientes com sintomas gripais em São Luís. *G1 MA*, São Luís, 28 maio 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2025/05/28/ma-registra-89-mortes-por-sindrome-respiratoria-grave-este-ano-hospital-de-campanha-vai-atender-pacientes-em-sao-luis.ghtml>. Acesso em: 13 jun. 2025.

GROSSO DE SOUZA, Camila; LIMA SANT'ANNA NETO, João. Ritmo climático e doenças respiratórias: interações e paradoxos. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 3, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabelima/article/view/25424>. Acesso em: 22 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15817-clima.html?edicao=15887&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, H. Lee; J. Romero (eds.). Geneva: IPCC, 2023. p. 35–115. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. O que são as mudanças climáticas? Nações Unidas no Brasil, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>. Acesso em: 29 jun. 2025.

NASCIMENTO, A. C. L. de S.; BERALDO, J. B. Saúde pública: mudanças climáticas e o aumento de doenças respiratórias. Revista Saúde Coletiva, São Paulo, v. 28, n. 139, out. 2024. Disponível em: <https://revistaft.com.br/saude-publica-mudancas-climaticas-e-o-aumento-de-doencas-respiratorias/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/mudancas_climaticas_ambientais_efeitos.pdf. Acesso em: 6 jun. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS. Decreto nº 49.347, de 08 de agosto de 2017. Diário Oficial do Município, São Luís, 9 ago. 2017. Disponível em: https://diariooficial.saoluiz.ma.gov.br/uploads/diario_oficial/3147/vyClMDqy1rXOTSWOr03WBYPuDyRb1YK.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.

RUMSEY, D. J. What is r value correlation? Dummies, 6 fev. 2023. Disponível em: <https://www.dummies.com/article/academics-the-arts/math/statistics/how-to-interpret-a-correlation-coefficient-r-169792/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SONDA. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Estação de São Luiz – Climatologia Local, 2019. Disponível em: <https://sonda.ccst.inpe.br/basedados/saoluiz.html>. Acesso em: 8 jun. 2025.

TROMP, S. W. Biometeorological survey. Londres: Heyden, 1979. 217 p.

VASCONCELOS, D. M.; CROCE, M.; MANSO, E. R. C.; DUARTE, A. J. S. Poluição ambiental e alergia respiratória. Revista de Medicina de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, v. 31, n. 1, p. 144–153, 2011. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rmrp/article/download/7646/9183/10182>. Acesso em: 29 jun. 2025.