



Artigos

Estrabão
Vol. (5): 183 - 198
© Autores
DOI: 10.53455/re.v5i1.230



Recebido em: 26/01/2024
Publicado em: 20/03/2024

Subsistema físico-químico: uma relação entre o material particulado fino e as internações por pneumonia em Manaus, Amazonas, Brasil

Physical-chemical subsystem: a relationship between fine particulate matter and hospitalizations for pneumonia in Manaus, Amazonas, Brazil

Larissa Kristyne Campos dos Santos ^{1A}, Natacha Cíntia Regina Aleixo

Resumo:

Contexto: A pneumonia é uma das principais causas de mortalidade infantil em todo o mundo. Um dos principais “fatores de risco” da pneumonia refere-se à exposição à fumaça de tabaco e à inalação de poluentes atmosféricos. **Métodos:** Foram utilizados dados dos elementos climáticos do INMET, do PM_{2,5} do SISAM e da morbidade por pneumonia do DATASUS de 2009 a 2019. Para a análise dos dados, utilizaram-se os índices de risco dos poluentes atmosféricos e a taxa de morbidade, além de métodos estatísticos exploratórios com o uso do SPSS[®]. Também realizou-se o mapeamento da taxa de morbidade por meio do software QGIS[®]. **Resultados:** Existem meses do ano, como março e abril, que superam mais de mil casos mensais, em contrapartida, as menores morbidades oscilam entre 150 e 450 casos, principalmente nos meses de dezembro e janeiro. O PM_{2,5} mostra uma relação inversa com a morbidade por pneumonia, e ambos estão distribuídos sazonalmente na cidade. No ritmo diário, as condições atmosféricas influenciam no aumento de internações diárias nos dias anteriores, contudo, não exibem um padrão homogêneo. Os dados espaciais mostram diferentes cenários: as maiores taxas de morbidade por pneumonia encontram-se em bairros de baixa (Praça 14 de Janeiro e Ponta Negra) e alta (Tarumã e Santa Etelvina) condição de vulnerabilidade social, no entanto, nota-se a concentração da população idosa e infantil nessas localidades, respectivamente, o que leva a concluir que a manifestação da pneumonia pode estar associada a estrutura etária da população.

Palavras-Chave: PM_{2,5}, Clima, Pneumonia, Vulnerabilidade Social, Manaus.

Abstract:

Context: Pneumonia is one of the leading causes of infant mortality worldwide. One of the main “risk factors” for pneumonia is exposure to tobacco smoke and inhalation of air pollutants. **Methods:** Climate data from INMET, PM_{2.5} data from SISAM and pneumonia morbidity data from DATASUS from 2009 to 2019 were used. The risk indices for air pollutants and the morbidity rate were used to analyze the data, as well as exploratory statistical methods using SPSS[®]. The morbidity rate was also mapped using QGIS[®] software. **Results:** There are months of the year, such as March and April, when there are more than a thousand cases a month, while the lowest morbidities range between 150 and 450 cases, mainly in December and January. PM_{2.5} shows an inverse relationship with pneumonia morbidity, and both are distributed seasonally in the city. At the daily rate, atmospheric conditions influence the increase in daily hospitalizations on the previous days, although they do not show a homogeneous pattern. The spatial data shows different scenarios: the highest rates of pneumonia morbidity are found in neighborhoods with low (Praça 14 de Janeiro and Ponta Negra) and high (Tarumã and Santa Etelvina) social vulnerability, however, there is a concentration of elderly people and children in these locations, respectively, which leads to the conclusion that the manifestation of pneumonia may be associated with the age structure of the population.

Keywords: PM_{2.5}, Climate, Pneumonia, Social Vulnerability, Manaus.

*I - Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM).
A - Contato principal: dissertacaoclimalari@gmail.com*

Introdução

Segundo o relatório do Fórum das Sociedade Respiratórias Internacionais, a pneumonia, juntamente com a infecção aguda do trato respiratório inferior, é uma das principais causas de morbimortalidade no mundo, sendo responsável por mais de 4 milhões de óbitos por ano, constituindo-se como a segunda principal causa de mortes prematuras (FIRS, 2017).

O estudo recente do Fundo das Nações Unidas para a Infância mostra que a pneumonia é a patologia que mais leva as crianças menores de cinco anos de idade à óbito do que qualquer outra doença infecciosa. Somente no ano de 2019, mais de 700 mil crianças perderam a vida, emitindo o alerta de que a cada 43 segundos morre uma criança vítima de pneumonia. Todavia, o estudo ressaltou que a maioria das mortes prematuras poderia ter sido evitada (UNICEF DATA, 2022).

No Brasil, apesar da redução da taxa de mortalidade da pneumonia em 25,5% entre os anos de 1990 e 2015, a quantidade de atendimentos hospitalares permanece alta, aliada ao custo elevado do tratamento da doença, ainda são desafios para a sociedade e a saúde pública no país (NASCIMENTO, 2020).

Um dos exemplos mais graves desta doença é a “pneumonite química”, causada pela inalação de gases tóxicos e outras partículas no aparelho respiratório, devido à aspiração da fumaça proveniente de incêndios ou queima de combustíveis fósseis (FIOCRUZ, 2013).

Um estudo realizado pelo Institute for Health Metrics and Evaluation mostra que a inalação de poluentes do ar em ambiente externo causa um adicional de 17,5% para a mortalidade em crianças por pneumonia, enquanto a aspiração de poluentes atmosféricos no interior das residências que, normalmente, usam a queima de combustíveis para o cozimento de alimentos, contribui com 29,4%, ou seja, 195 mil óbitos (UNICEF, 2020).

Entre os poluentes atmosféricos enfatiza-se o material particulado de diâmetro inferior ou igual a 2,5 µg/m³ (micrograma por metro cúbico), devido às graves consequência para a saúde humana, contribuindo para o aparecimento de doenças respiratórias nas populações mais vulneráveis, como as crianças, os idosos e as pessoas com doenças preexistentes, com o seu tamanho reduzido, pode penetrar nas regiões mais profundas do trato respiratório.

Diante do contexto, a poluição atmosférica, aliada aos efeitos do tempo e clima, pode ser utilizada como um indicador chave para compreender a manifestação da pneumonia neste estudo. Entretanto, é importante observar que existem outros “fatores de risco” à saúde, como condições socioeconômicas e ambientais ou práticas socioculturais, que podem ser ainda mais significativos no aparecimento ou agravamento desta doença.

No estado do Amazonas, poucos estudos analisam a interação entre a morbidade hospitalar por pneumonia e as variáveis meteorológicas. Os estudos encontrados restringem-se à capital amazonense, além de que o foco está relacionado às ocorrências de doenças respiratórias (ANDRADE, 2011; BOSCA, 2021; VALEBONA, 2018).

Neste sentido, o objetivo principal do artigo foi verificar o padrão mensal, sazonal e diário das hospitalizações por pneumonia em Manaus, relacionado às condições atmosféricas, principalmente o comportamento do material particulado fino (PM_{2,5}), bem como a espacialização dos casos de pneumonia na área urbana da cidade.

Metodologia

O estudo apoia-se no referencial teórico-metodológico do geógrafo Monteiro (1971, 2003) do Sistema Clima Urbano (S.C.U), com foco no subsistema físico-químico, que se refere à qualidade do ar urbano e o agravamento de doenças respiratórias, em conjunto com a abordagem dinâmica do clima, através da técnica de “análise rítmica”, o que possibilita a identificação dos tipos de tempo em sua sucessão extrema e habitual. Além disso, também se baseou no aporte teórico de Sant’Anna Neto (2001) com a Geografia do Clima para entender a relação conflituosa entre os casos de doenças, as condições meteorológicas e a vulnerabilidade social.

Os dados dos elementos climáticos mensais e diários foram obtidos no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 2009 a 2019. Para a realização da técnica de “análise rítmica” na escala episódica de 2017, usou-se de dados diários das variáveis investigadas, juntamente com a identificação dos sistemas atmosféricos, por meio da interpretação das imagens de satélites meteorológicos

de órbita geostacionária GOES-13, cedidas no acervo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) no horário entre 06h e 21h GMT.

Quanto aos dados das estimativas das concentrações médias anuais, mensais e diárias do PM_{2,5} estas foram coletadas do banco de dados do Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde (SISAM/INPE) também no período de 2009 a 2019. A análise dos níveis de risco do particulado fino (PM_{2,5}) foram baseadas nas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQG, em inglês) pela Organização Mundial de Saúde (OMS) lançada em 2021 e na Resolução nº491 de 19 de novembro de 2018 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Os dados da morbidade hospitalar por pneumonia foram coletados de maneira secundária no banco de dados do Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (DATASUS - SIH/SUS) do Ministério da Saúde em escala mensal para os anos de 2009 a 2019 e os dados de internação diária entre os anos de 2015 e 2019 são provenientes do Projeto de Pesquisa Emergências Climáticas em Cidades Amazônicas.

O tratamento e análise desses dados foi realizado no programa SPSS STATISTIC® versão 22.0 para obtenção das medidas estatísticas de tendência central e dispersão em escala anual, mensal e sazonal.

No mapeamento da taxa de morbidade por pneumonia, utilizou-se da distribuição por bairros da cidade de Manaus e o ano de 2017 como referência para a representação espacial, bem como o auxílio do software Microsoft Office Excel® e a função SERVIÇOWEB para extrair o nome dos bairros conforme o CEPs, disponibilizados na AIH/REDUZIDA no Microdatasus. Os produtos cartográficos foram produzidos em ambiente SIG – Sistemas de Informações Geográficas, por meio do software QGis® versão 3.18.0.

Cabe ressaltar que a taxa de internação e/ou morbidade usada na pesquisa foi preconizado pelos autores Lima, Pordeus e Rouquayrol (2013), na qual assumiu a potência de base equivalente a 10 mil, de acordo com a equação abaixo (1).

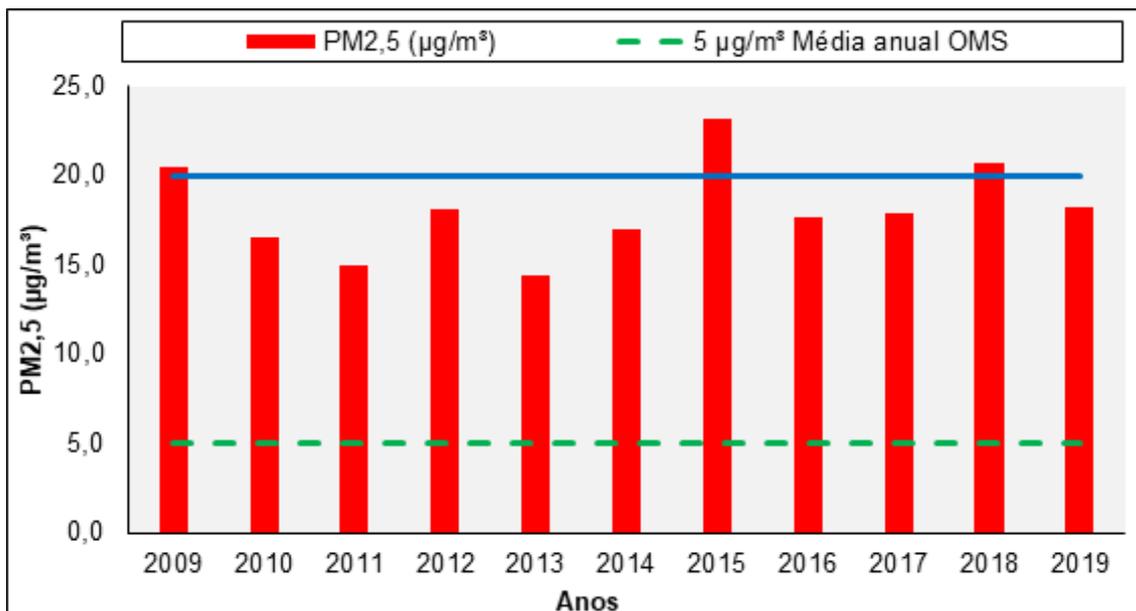
Resultados e discussão

Caracterização do material particulado fino (pm_{2.5}) E clima em manaus

O Gráfico 1 exibe o comportamento anual do PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre os anos de 2009 e 2019 para a cidade de Manaus, juntamente com os limites anuais do referido particulado preconizados em âmbito mundial, nas diretrizes gerais de qualidade do ar da OMS (2021) e no padrão nacional de qualidade do ar do CONAMA (2018).

Com base na representação gráfica abaixo, foram realizadas as seguintes inferências: (1) Ao longo do período investigado, examina-se que as concentrações médias anuais de PM_{2,5} superaram com margem significativa o limite anual da OMS, que é fixada em $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; (2) Em relação ao CONAMA, destaca-se que apenas nos anos de 2009, 2015 e 2018, as médias anuais do PM_{2,5} ultrapassaram o valor-base da legislação nacional de qualidade do ar, isto é, em $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Verificou-se que o limite tolerável de PM_{2,5} do CONAMA (2018) para o período anual é significativamente superior ao valor-base estabelecido pela OMS (2021), o que se torna problemático do ponto de vista da saúde coletiva, visto que a partir do ano de 2005, houve um aumento de estudos epidemiológicos que têm mostrado que a exposição à poluição do ar pode causar malefícios a saúde humana em concentrações ainda muitos menores do que se pensava, especialmente em países de renda alta (OMS, 2021). Desse modo, é recomendável apoiar-se nos valores da OMS, pois são mais protetivos e restritos.

Gráfico 1: Média anual da concentração de PM_{2,5} (µg/m³) em Manaus (2009-2019).

Fonte: SISAM/INPE (2020).

Org.: A autoria (2023).

Conforme a análise do Gráfico 1, os valores mais baixos das concentrações médias do material particulado fino foram observados nos anos de 2011 e 2013, com uma média anual em torno de 14 µg/m³. Em contrapartida, o maior valor de PM_{2,5} foi registrado em 2015 com 23,2 µg/m³, acima do limiar anual definido pelo CONAMA (2018), o que pode estar associado à ocorrência do fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENOS), entre os anos de 2015 e 2016, na fase quente e forte, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. Como consequência da sua atuação, houve um episódio severo de estiagem na região amazônica, o que ocasionou no aumento do risco de incêndios florestais (El Niño e La Niña – CPTEC/INPE, 2020).

A Tabela 1 apresenta que, no decorrer do período estudado, os níveis médios anuais de PM_{2,5} mantiveram-se em constância variação, porém não abruptamente, com uma diferença de 8,8 µg/m³ e uma média de 18,1 µg/m³ (desvio padrão = 8,5 µg/m³), com um valor de coeficiente de variação em 47%, o que aponta uma dispersão significativa dos dados.

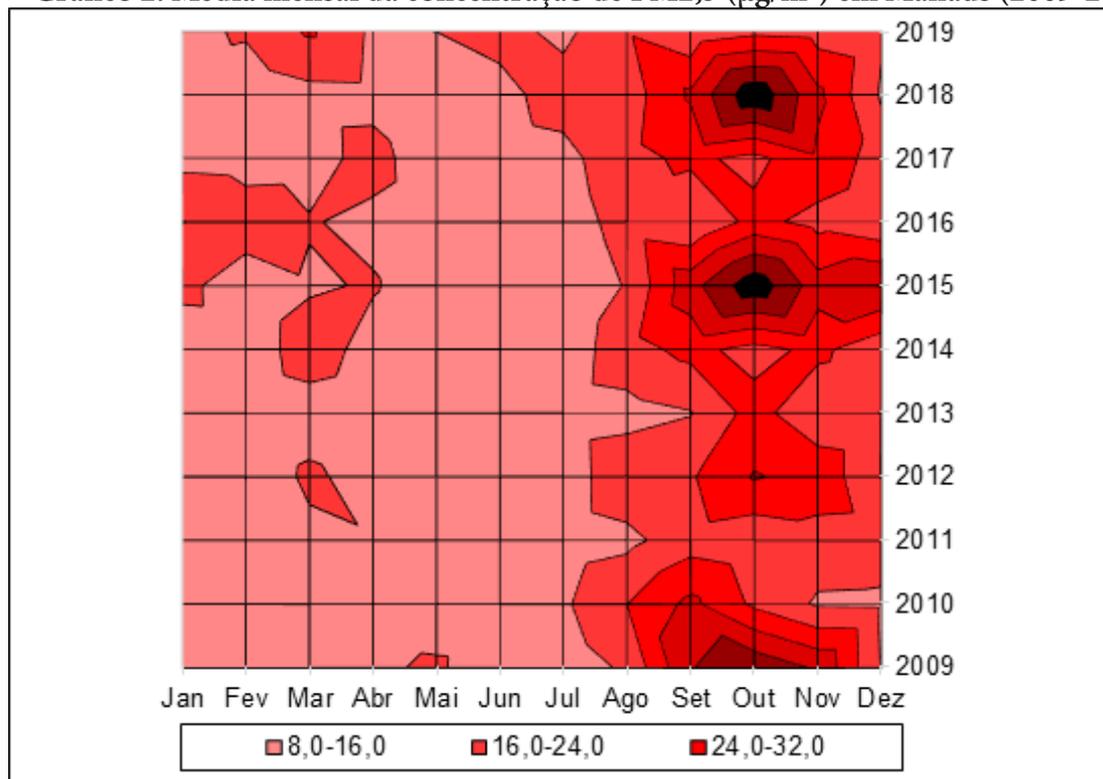
Tabela 1: Medidas estatísticas da concentração média mensal de PM_{2,5} (µg/m³) em Manaus (2009 – 2019).

Manaus	Máximo	Mínimo	Mediana	Média ± desvio padrão	CV (%)
PM _{2,5} (µg/m ³)	54,2	8,5	15,3	18,1 ± 8,5	47%

Fonte: SANTOS (2023).

De acordo com o Gráfico 2, na análise mensal, verifica-se que os valores mais expressivos das concentrações médias de PM_{2,5} ocorrem durante os meses de agosto e dezembro, podendo ultrapassar uma média mensal de 24 µg/m³, já os extremos foram observados no mês de outubro nos anos de 2015 e 2018, com 53,3 µg/m³ e 54,2 µg/m³, respectivamente.

Além disso, percebe-se que no primeiro trimestre do ano de 2016, as partículas do PM_{2,5} ainda continuaram elevadas, o que se considera um comportamento atípico. Conforme mencionado anteriormente, está atrelado à ocorrência do El Niño, o que provocou uma maior duração da estação seca entre agosto de 2015 e outubro de 2016, consequentemente, ocasionando uma redução no período da estação mais úmida da região amazônica (MARENGO & SOUZA JR., 2018). Em alternativa, nos meses de janeiro a julho, as concentrações mensais de PM_{2,5} não excedem 16 µg/m³, sendo que a menor média foi registrada no mês de fevereiro em 2011, com 8,5 µg/m³.

Gráfico 2: Média mensal da concentração de PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em Manaus (2009-2019).

Fonte: SISAM/INPE (2020).

Org.: A Autoria (2023).

Com base nesses dados, entende-se que as concentrações médias de PM_{2,5} apresentam uma variação brusca ao longo do ano, e essas partículas finas afetam a cidade de Manaus de maneira sazonal. Para compreender esse comportamento do PM_{2,5} na atmosfera, é importante associá-lo às condições climáticas da área estudada, uma vez que as partículas desse material possuem uma relação estreita com os elementos do clima. Isso ocorre ora pela limpeza do ar atmosférico e/ou dissolução dos poluentes causados pelas chuvas, ora pelo vapor d'água atmosférico que, ao ser incorporado às partículas em suspensão, causa um aumento da sua massa, facilitando o processo de deposição. Por fim, a intensidade e direção dos ventos podem dispersar as partículas para locais distantes de sua fonte emissora, alcançando outros centros urbanos.

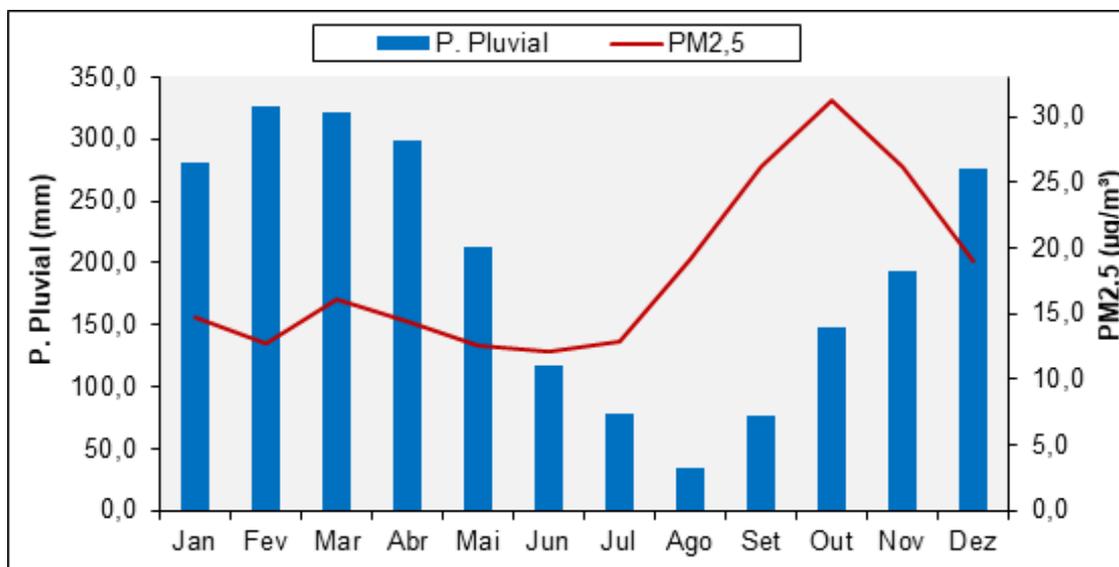
Neste sentido, ao analisar o Gráfico 3, os maiores volumes mensais de precipitação pluvial acontecem entre os meses de dezembro e junho, com destaque para os meses de fevereiro (326 mm) e março (321 mm). Durante este período, as temperaturas do ar ficam mais amenas, ou seja, a mínima com 24,3 °C e a máxima com 31,3 °C, caracterizando assim o período mais chuvoso e úmido de Manaus, denominado localmente de “inverno amazônico”. Desta maneira, ocorre uma lavagem do ar atmosférico na capital amazonense, que associada ao solo úmido impede a ressuspensão das partículas de PM_{2,5}, em razão disso, os valores desse determinado material particulado fino ficam mais atenuados no ar ao longo desta época de chuvas intensas, com concentrações médias, geralmente, abaixo de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (SANTOS, 2023).

Entre os meses de julho a outubro, o município de Manaus encontra-se no período menos chuvoso e úmido, com acumulados mensais abaixo de 150 mm. O mês de novembro pode ser considerado de transição entre a sazonalidade seca para a mais chuvosa da região. A queda mais acentuada dos índices de chuvas é observada no mês de agosto, com um registro mensal de 35 mm. Ao longo desta época, as temperaturas do ar ficam ainda mais elevadas, com valores de máxima e mínima do ar em 35 °C e 25,7 °C, respectivamente. Este período, marcado por temperaturas altas e registros menores de umidade e chuvas, é conhecido popularmente como “verão amazônico”.

Assim, devido à ausência de chuvas e baixa umidade do ar, verifica-se um aumento das atividades de desmate e queimadas em torno da Região Metropolitana de Manaus e, como resultado, as partículas do PM_{2,5} tornam-se ainda mais acentuadas na atmosfera.

Analisando o Gráfico 3, as maiores concentrações médias ocorrem entre os meses de setembro e novembro, chegando a alcançar $31,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em outubro. Além disso, constatou-se que a presença do $\text{PM}_{2,5}$ na atmosfera começa a diminuir quando os registros de chuvas e umidade relativa do ar passam a aumentar, como é o caso do mês de dezembro.

Gráfico 3: Precipitação pluvial e $\text{PM}_{2,5}$ mensais entre os anos de 2009 e 2019.

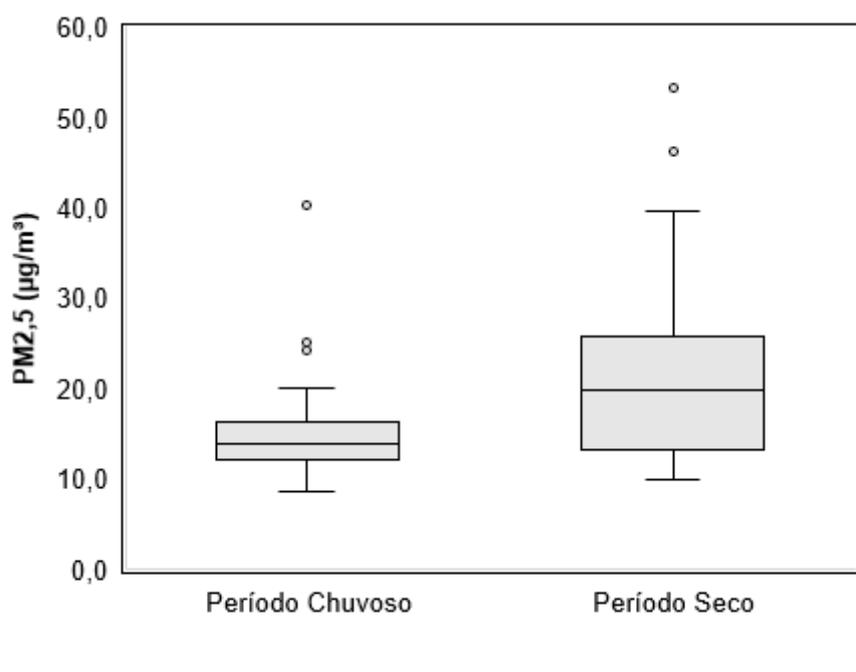


Fonte: INMET/SISAM/INPE (2020).

Org.: A Autoria (2023).

Os achados encontrados corroboram com as pesquisas desenvolvidas por Andrade Filho (2011), Valebona (2018), Aleixo & Lima (2023) e Santos (2023) sobre o material particulado fino em Manaus, confirmando que os valores deste elemento na atmosfera são maiores durante a época seca da região, que abrange o segundo semestre do ano, conforme o Gráfico 4. Ainda, foi verificado que a concentração média mensal do $\text{PM}_{2,5}$ durante a sazonalidade seca ($21,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) é consideravelmente superior quando comparada aos níveis médios mensais na sazonalidade mais úmida e chuvosa da região ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Gráfico 4: Box plot da sazonalidade do $\text{PM}_{2,5}$ em Manaus (2009-2019).



Fonte: SISAM/INPE (2020).

Org.: A autoria (2023).

Para inferir o quanto da patologia é influenciada pelos padrões climáticos e os tipos de tempos agravantes associados à exposição de poluentes atmosféricos, é mais bem compreendidos em escalas de tempo mais curtas. Desse modo, buscou-se analisar a inter-relação do clima e do PM_{2,5} em escala mensal, sazonal e diária.

Conforme Besancenot (2001) explica o Geógrafo, com o conhecimento prévio do clima, deve utilizar de escalas precisas para a realização de interpolações das relações climáticas e patológicas, de modo a evitar possíveis dificuldades nas análises críticas desses dados em estudos climatopatológicos, e conclui relatando que “[...] para individualizar os fatores climáticos envolvidos na patogênese, convém renunciar o exame dos dados anuais. A variedade intradiária e inter-sazonal revela-se mais rica em princípios” (BESANCENOT, 2001, p. 89).

Ritmo diário das internações hospitalares por pneumonia em manaus

Contextualizando o perfil epidemiológico da morbidade hospitalar na população residente de Manaus, constatou-se que nos últimos 10 anos as principais causas de hospitalizações nos hospitais públicos e conveniados ao Sistema Único de Saúde estão ligadas às doenças do aparelho digestivo e as doenças do aparelho respiratório (Morbidade Hospitalar do SUS – DATASUS, 2022). Considerou-se excluir o grupo de gravidez, parto e puerpério, pois, normalmente possui quantitativos de casos mais elevado de internações hospitalares (Tabela 2).

A pneumonia adquire uma notoriedade significativa entre o grupo de “causas de doenças do foro respiratório”, pois possui uma predominância em relação as demais patologias, em torno de 63 %, apresentando a maior taxa de morbidade hospitalar com 416,6 por 10 mil habitantes, com um total de 75.073 internações no recorte temporal de 2009 a 2019, sendo assim, torna-se o principal fator de influência na procura por serviços de atendimentos no SUS em Manaus, conforme a Tabela 2 (SANTOS, 2023).

Ressalta-se que é importante observar que a ocorrência de internações hospitalares por pneumonia é maior entre as crianças menores de quatro anos de idade, correspondendo a cerca de 60% de todas as internações analisadas por grupos etários neste período. Isso pode ser explicado pela vulnerabilidade biológica nos primeiros anos de vida, devido à baixa capacidade dos mecanismos físicos de defesa respiratória, aliada ao calibre reduzido das vias aéreas, uma vez que o trato respiratório ainda está em desenvolvimento (ANDRADE FILHO, 2011; SANTOS, 2023).

Tabela 2: Taxa média de internação por doenças respiratórias em Manaus entre os anos de 2009 e 2019.

Morbidade Respiratória (CID-10)	Taxa média	Classificação
Faringite aguda e amigdalite aguda	2,6	11°
Laringite e traqueíte agudas	17,6	6°
Outras infecções agudas das vias aéreas super	7,0	7°
Influenza [gripe]	6,1	8°
Pneumonia	416,6	1°
Bronquite aguda e bronquiolite aguda	67,3	2°
Sinusite crônica	0,4	13°
Outras doenças do nariz e dos seios paranasais	3,6	10°
Doenças crônicas das amígdalas e das adenoides	6,1	8°
Outras doenças do trato respiratório superior	5,4	9°
Bronquite enfisema e outras DPOC	20,2	5°
Asma	42,6	4°
Bronquiectasia	1,2	12°
Pneumoconiose	0,3	14°
Outras doenças do aparelho respiratório	63,3	3°
Total de internações	660,3	-

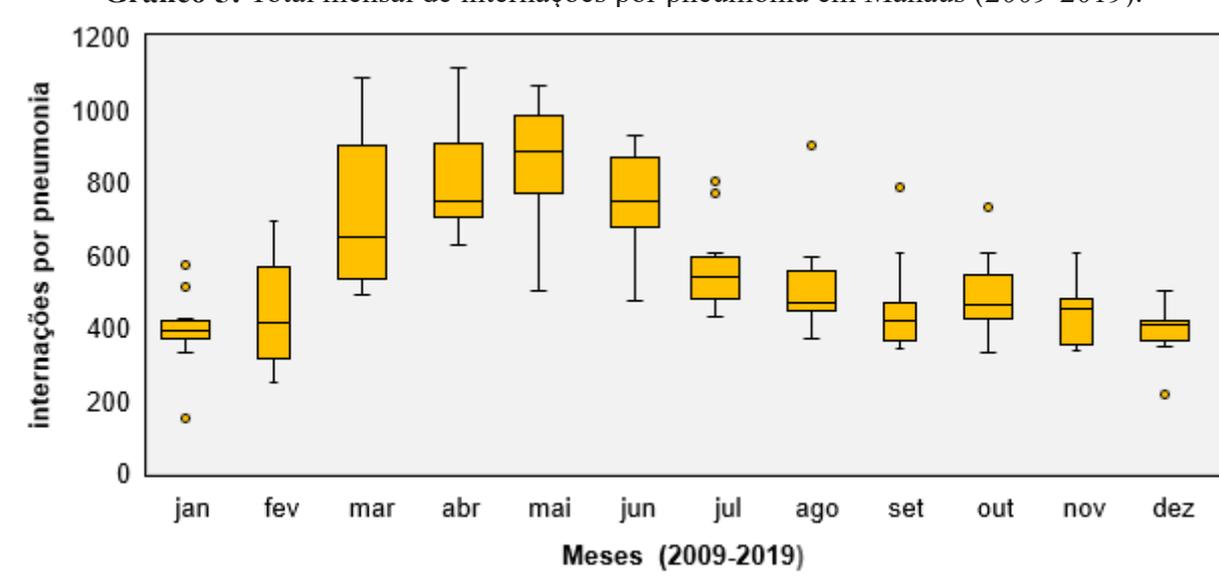
*Taxa por estimativa da população no IBGE (2010)
/10.000 hab.

Fonte: SANTOS (2023).

De acordo com a análise mensal no Gráfico 5, averigua-se que os meses de março e junho tiveram uma alta frequência de atendimentos hospitalares por pneumonia, totalizando mais de 900 casos mensais. Os números mais elevados das internações ao longo do período estudado são observados nos meses de maio de 2011 e março e abril de 2012, com uma faixa entre 1.000 e 1.200 casos por mês. A menor morbidade por pneumonia em Manaus é verificada nos meses de dezembro e janeiro, com uma variação entre 150 e 450 casos por mês.

Neste contexto, com base na análise integrada do comportamento mensal das condições climáticas e do PM_{2,5}, no tópico anterior, apura-se que a pneumonia acompanha as flutuações sazonais de Manaus, com a prevalência de hospitalizações nos meses mais úmidos e chuvosos, com as concentrações médias do determinado particulado em valores mais baixos, e as menores ocorrências de hospitalizações nos meses de transição entre a época seca para a chuvosa, o momento em que o PM_{2,5} está com os níveis médios mensais mais atenuados no ar.

Gráfico 5: Total mensal de internações por pneumonia em Manaus (2009-2019).



Fonte: SIH/SUS (2022).

Org.: A Autoria (2023).

O autor Besancenot (2001) descreve que cada doença possui o seu próprio ritmo de manifestação e pode manifestar-se sazonalmente devido aos diversos padrões climáticos existentes na superfície terrestre, influenciados pelos fatores do clima, como a latitude. Isso contribui para que ocorra uma variação dos ritmos patológicos nos mais diversos locais, portanto, torna-se imprescindível a realização de estudos climatopatológicos em territórios que carecem de pesquisas nesse campo do conhecimento.

Diversos estudos acadêmicos-científicos mostraram que diferentes patologias relacionadas ao ar e à água possuem um padrão, ou melhor, manifestam-se sazonalmente na metrópole manauara e isso pode ser explicado pelos padrões climáticos existentes nesta região, como as ocorrências de dengue, diarreia aguda e Síndrome Respiratória Aguda Grave por Covid-19 no período mais úmido e chuvoso, enquanto os casos de malária aumentam na sazonalidade menos chuvosa e com as temperaturas altas na cidade de Manaus (ALMEIDA, 2019; ALEIXO & LIMA, 2023, CASTRO, 2021; SANTOS, 2016).

Para a análise diária da pneumonia e do material particulado fino atmosférico priorizou-se a série temporal de 2015 a 2019, conforme mostra os gráficos 6 e 7, de maneira respectiva.

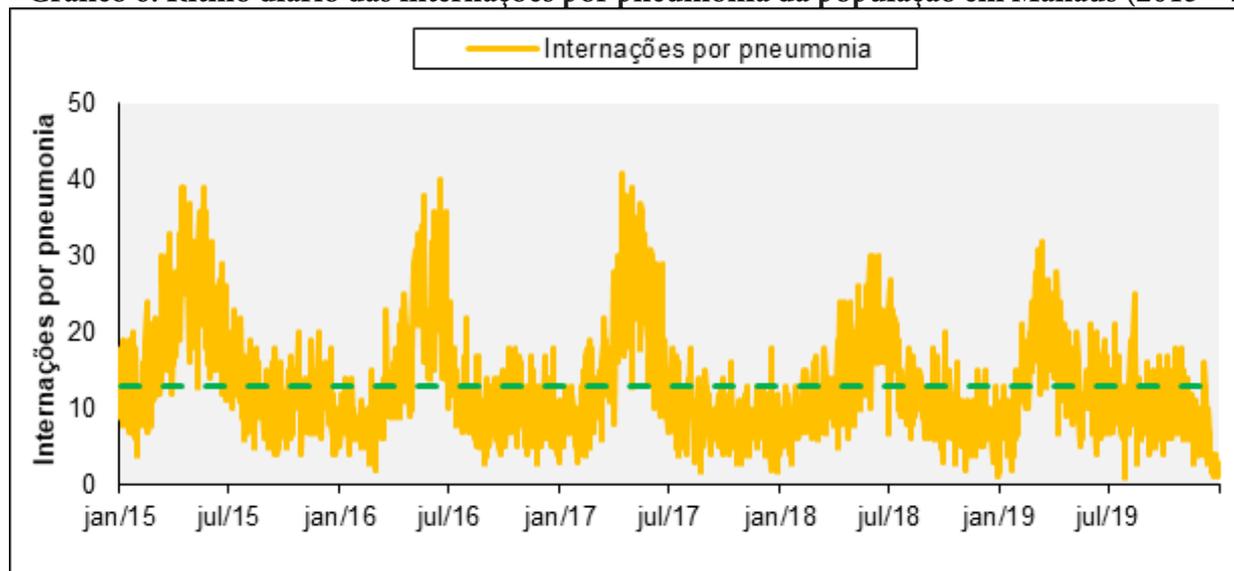
No Gráfico 6, em decorrência do período mais chuvoso de Manaus, as ocorrências de atendimentos por pneumonia nos hospitais tornaram-se mais frequentes, com registros diários superiores a 30 casos. O maior total de morbidade diária foi identificado no dia 15 de abril de 2017, com 41 hospitalizações. Ademais, foi confirmado que a população residente recebeu atendimento para o tratamento da pneumonia todos os dias entre os anos de 2015 e 2019.

Neste sentido, compreende-se que o aumento de internações por síndrome respiratória aguda é bastante influenciado pela época chuvosa, visto que as pessoas costumam aglomerar-se em ambientes fechados com

pouca ventilação, favorecendo a proliferação e transmissão de vírus e bactérias. Isso pode levar a infecções como resfriados e gripes, e se não tratadas adequadamente, têm maior probabilidade de evoluir para a pneumonia viral, facilitando a entrada do agente bacteriano, o pneumococo, no organismo (SANTOS, 2023).

Em relação ao ritmo diário da pneumonia durante a sazonalidade menos chuvosa de Manaus, averiguou-se que o número de atendimentos hospitalares não ultrapassou 10 casos na maioria dos dias, embora alguns episódios diários nesse período superem o valor médio de internações diárias (13 internações/dia), eles ainda estão em proporções inferiores em comparação às ocorrências de morbidade hospitalares por pneumonia durante a sazonalidade mais chuvosa e úmida, principalmente nos meses de dezembro e janeiro, que marcam a transição da época seca para a chuvosa na região.

Gráfico 6: Ritmo diário das internações por pneumonia da população em Manaus (2015 – 2019)



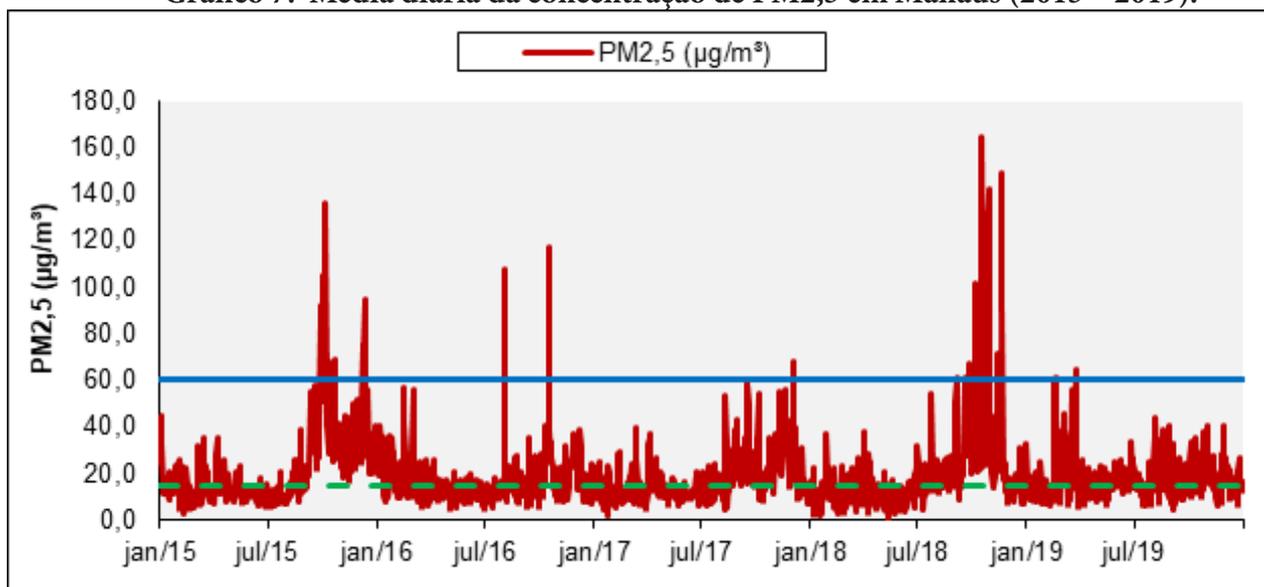
Fonte: SIH/SUS (2022).

Org.: A Autoria (2023).

Com base na análise do Gráfico 7, que apresenta o comportamento diário das concentrações médias de PM_{2,5} no ar, constatou-se que os menores níveis diários do determinado material particulado são observados entre os meses de dezembro e junho, devido ao impacto positivo das chuvas no processo de transporte e remoção de poluentes atmosféricos por meio da aeração atmosférica.

Durante a época de chuvas abundantes, os níveis diários não superaram o valor de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na maioria dos dias, contudo, em alguns episódios, os limites seguros em escala diária definidos pela OMS, fixados em 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bem como os do CONAMA, em 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de 24 horas, foram excedidos, especialmente nos anos de 2016 e 2019.

Os meses de julho a novembro foram marcados pelos aumentos diários expressivos de PM_{2,5} na atmosfera, ultrapassando por margem significativa os limites seguros da OMS, alcançando os limites de orientação do CONAMA e superando até mesmo o valor de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como, por exemplo, nos anos de 2015, 2016 e 2018. A maior concentração diária deste elemento foi detectada no dia 14 de outubro de 2018, com 165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, um episódio crítico categorizado como nível de alerta, segundo a legislação nacional do padrão de qualidade do ar. Esses episódios agravantes, normalmente, ocorrem em condições de baixa pluviosidade. De maneira geral, as concentrações médias diárias do PM_{2,5} podem oscilar bruscamente entre 1,2 e 165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico 7: Média diária da concentração de PM_{2,5} em Manaus (2015 – 2019).

Fonte: SISAM/INPE (2022).

Org.: A Autoria (2023).

À vista disso, por meio das análises do ritmo diário das variáveis, foi possível entender que a morbidade hospitalar por pneumonia e o PM_{2,5} estão bem distribuídos sazonalmente, contudo, em períodos distintos (embora os atendimentos hospitalares por esta doença na população local serem mais frequentes no período chuvoso), a presença do determinado material particulado fino no ar é mais acentuada em Manaus durante o período seco. Cabe destacar que o estudo de Medeiros et al. (2017) apontou que o material particulado fino e os demais poluentes atmosféricos não impactam somente a qualidade do ar urbana da população de Manaus, devido à influência da intensidade e direção dos ventos, por essa característica, esses poluentes possuem a capacidade de alcançar outras cidades amazônicas, como os centros urbanos de Iranduba, Careiro e Manacapuru.

Para a análise episódica das variáveis investigadas, aplicou-se a técnica de “análise rítmica” desenvolvida por Monteiro (1971), uma técnica bastante requisitada em pesquisas climatopatológicas que se apoiam na perspectiva geográfica do clima. Desse modo, a seleção do episódio se deu pelo registro do maior pico de atendimento diário, composto por seis dias antecedentes e seis dias posteriores a este evento.

Análise rítmica do episódio de 2017

No ano de 2017, o maior pico de morbidade diária por pneumonia ocorreu em 15 de abril. Este episódio é caracterizado por vários dias consecutivos de chuvas, com um acumulado de 79,6 mm e o menor valor foi nulo. Reitera-se que o mês de abril é um dos meses que apresentam os maiores índices de chuvas ao longo da sazonalidade mais úmida de Manaus. Os registros de umidade relativa do ar mantiveram-se acentuados, com uma oscilação interdiária entre 73 % e 92 %. Quanto à velocidade dos ventos, foi baixa, com uma intensidade em torno de 1,0 m/s durante o episódio, apresentando, assim, uma condição de uniformidade.

Portanto, os valores higrométricos e pluviométricos bastante elevados contribuíram para a alta nebulosidade na cidade. Houve a atuação de sistemas precipitantes importantes da região, como a Linha de Instabilidade e os Sistemas Convectivos, atuando por aproximadamente 4 e 5 dias. Além disso, nota-se que nos dias em que ocorreu a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul e a Zona Convergência Intertropical registrou-se os maiores índices de precipitação.

Um dos pontos mais importantes, que merece destaque, refere-se aos dias 15 e 17 de abril, nos quais ocorreram três dias consecutivos de chuvas com índices superiores a 10 mm, o que influenciou no aumento do valor da umidade relativa do ar a ponto de ultrapassar 90 %. Desse modo, as temperaturas máximas e mínimas foram as mais baixas (28 °C e 23°C, respectivamente). Foi durante este intervalo, especialmente no dia 15 de abril, que ocorreu o maior pico de internações diárias por pneumonia, com 41 casos notificados.

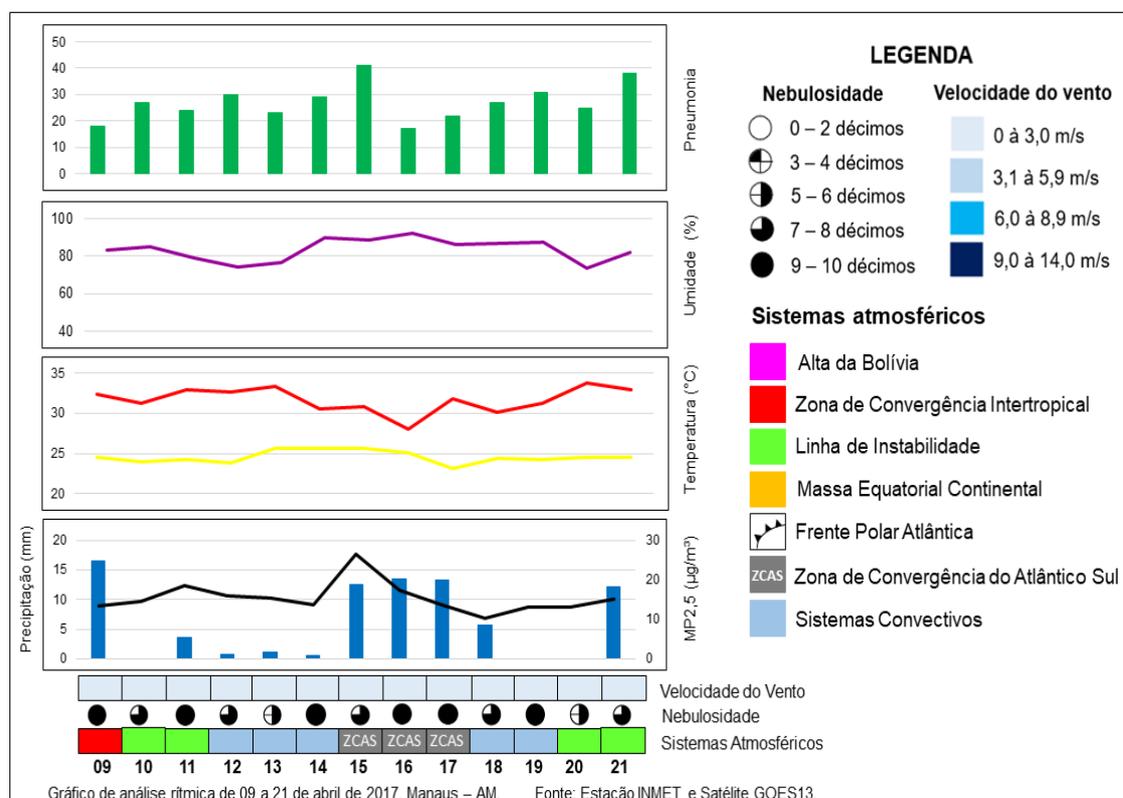
Cabe mencionar que, neste mesmo dia, a temperatura mínima registrou o valor mais alto (25,6 °C),

acompanhado da maior concentração de PM_{2,5} no ar (26,6 µg/m³), configurando um episódio “problemático” na qualidade do ar urbano. Este fenômeno superou o limiar diário estabelecido pela OMS (2021). Nos dias anteriores (12 a 14/04), os registros de chuvas não superaram 1 mm, dificultando no processo de remoção das partículas finas atmosféricas.

Concluiu-se que, nos dias anteriores à maior ocorrência de internações diárias, as condições meteorológicas, assim como o comportamento do PM_{2,5}, mostraram-se com um padrão heterogêneo entre os dias 12 e 17 de abril.

Em uma análise ampla da morbidade por pneumonia, o montante de internações hospitalares para o episódio foi de 352 casos, com uma média de 27 internações/dia (desvio padrão = 7,0) e uma variação interdiária de 17 a 41 casos.

Gráfico 8: Análise episódica dos elementos climáticos e do PM_{2,5} com os casos de pneumonia no período de 09 a 21 de abril de 2017.



Fonte: SIH/SUS; INMET; SISAM/INPE (2020; 2021).

Org.: A Autoria (2023).

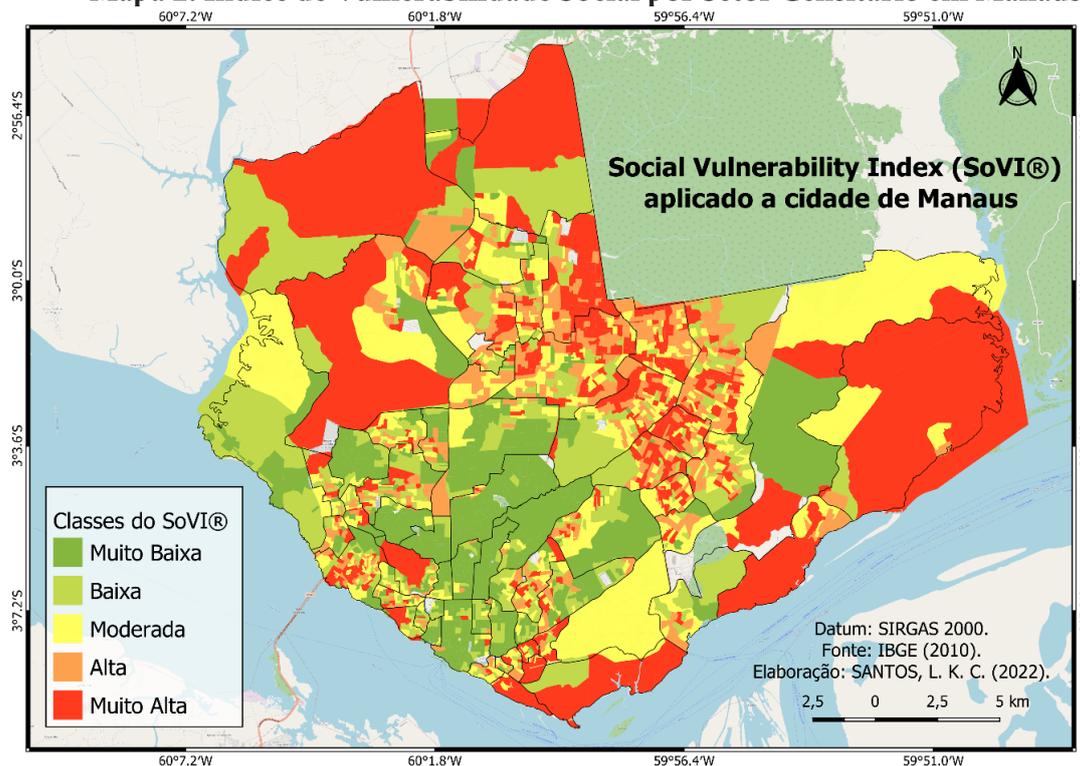
Espacialização dos casos de pneumonia em manaus

Em relação à distribuição espacial dos casos de pneumonia na cidade de Manaus, o ano de 2017 também ganha destaque neste cenário epidemiológico da doença por apresentar a maior taxa de morbidade hospitalar por bairro entre os anos analisados, de 2015 a 2019.

Com base no Mapa 1, detecta-se que o bairro Praça 14 de Janeiro (43), situado na Zona Sul da metrópole manauara, mostrou uma alta taxa de internação por pneumonia, com uma variação entre 200,1 e 367,8 internações por 10 mil/hab., seguido pelos bairros Santa Etelvina (48) na Zona Norte; juntamente com os bairros do Tarumã (59) e Ponta Negra (42) na Zona Oeste da cidade, que exibiram taxas de morbidade elevadas, com valores entre 63,1 e 200,0. Por outro lado, as menores taxas de internação foram verificadas nos bairros localizados na Zona Centro-Sul de Manaus.

Entende-se que o processo saúde-doença de uma população é condicionado pelos processos de vulnerabilidade dos lugares e/ou pessoas em um dado território, o que pode envolver diferentes fatores que estão ligados às condições socioeconômicas e ambientais, bem como às práticas culturais. Dessa maneira, existem

Mapa 2: Índice de Vulnerabilidade Social por Setor Censitário em Manaus.



Fonte: IBGE (2010); SANTOS (2023).

Considerações finais

Nesta análise multidimensional da internação hospitalar por pneumonia na cidade de Manaus numa perspectiva espacial e temporal, foi possível compreender que as doenças respiratórias são uma das principais causas de internações nos hospitais públicos e conveniados do SUS. Entre o grupo de “causas de doenças do trato respiratório” a pneumonia é o principal fator “agravante” do Sistema de Saúde do município, além de que o grupo etário das crianças menores de 4 anos de idade é o mais suscetível ao desenvolvimento dessa doença.

A partir das análises em escala mensal, evidenciou-se que as internações por pneumonia tornam-se mais frequentes na população manauara no período que abrange a sazonalidade mais chuvosa e úmida da região, compreendido entre os meses de março e junho, o que influencia na redução do PM_{2,5} na atmosfera. Por outro lado, as menores quantidades de casos ocorrem na transição da época seca para a chuvosa, entre os meses de dezembro e janeiro.

Na sazonalidade mais seca de Manaus (entre os meses de junho a outubro), caracterizada por baixa umidade relativa do ar e temperaturas mais altas, bem como as concentrações médias de PM_{2,5} mais acentuadas, as internações por esta doença continuam elevadas, embora em proporções mais baixas quando comparadas à manifestação da pneumonia na sazonalidade chuvosa.

Estes achados comprovam os resultados encontrados nas pesquisas de Andrade Filho (2011), Valebona (2018) e Boscá (2021), que apontaram a influência do período chuvoso da região amazônica, com destaque para a variável umidade do ar, na ocorrência de doenças respiratórias em Manaus. Além disso, o PM_{2,5} está associado inversamente aos desfechos morbidos.

Desse modo, verifica-se que o PM_{2,5} não possui uma relação estreita com a morbidade hospitalar por pneumonia, apenas com os elementos do clima, seja facilitando na limpeza do ar atmosférico ou favorecendo a sua concentração em uma determinada área. A média da concentração mensal deste elemento no ar é de 15 µg/m³ para a época chuvosa e 21,2 µg/m³ na época seca.

No que diz respeito à análise do ritmo diário das variáveis estudadas, notou-se uma oscilação brusca da presença do PM_{2,5} no ar ao longo do ano, com valores entre 1,2 e 165 µg/m³, o que extrapola os limites seguros do CONAMA, sendo classificado como episódio crítico de alerta para a qualidade do ar urbana. Desta

maneira, faz-se necessária a implementação de políticas públicas que visem atenuar os efeitos dos poluentes atmosféricos para a promoção do bem-estar e saúde dos amazônidas, bem como corrigir e regular as fontes de emissões.

Além disso, por meio da análise episódica, constatou-se que as hospitalizações diárias foram influenciadas pelos padrões climáticos e pelo comportamento do PM_{2,5} nos dias que antecedem ao pico da pneumonia, porém, não mostrou um padrão homogêneo.

Na espacialização dos casos de pneumonia na cidade de Manaus, as menores taxas de morbidade por pneumonia foram detectadas na Zona Centro-Sul, que possui condições baixa de vulnerabilidade social, com um perfil populacional de cor/raça branca e alta renda salarial mensal. Essas condições também foram identificadas nos bairros Ponta Negra e Praça 14 de Janeiro. No entanto, essas áreas apresentam percentuais de risco à ocorrência desta doença na metrópole devido à intensa presença de população idosa nessas localidades.

As áreas do Tarumã e Santa Etelvina também apresentaram as maiores taxas de morbidade, são bairros com situação de vulnerabilidade alta a moderadamente alta, com condições de vida insuficientes para os mais desfavorecidos da sociedade, o que acarreta impedimentos ao enfrentamento e à recuperação às patologias. Entre esses impedimentos, pode-se citar a deterioração do ambiente construtivo no interior e no entorno das moradias, associadas às baixas condições financeiras para compra de equipamentos e medicamentos e, além disso, há a predominância da população infantil nesses locais.

Conclui-se que a ocorrência de pneumonia e/ou doenças respiratórias na cidade de Manaus também está associada diretamente à vulnerabilidade pela estrutura etária das populações, em razão dos seus fatores fisiológicos, para além das características socioeconômicas e ambientais.

Agradecimentos

À Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de Bolsa de Mestrado e Apoio Técnico. Ao Projeto de Pesquisa Emergências Climáticas em Cidades Amazônicas financiado pelo Programa Amazônidas (Edital 002/2021) da FAPEAM e ao Projeto Eventos Extremos Climáticos e Risco à Saúde em Cidades Amazônicas (Edital: 013/2022) Produtividade CT&I da FAPEAM.

Créditos

A primeira autora contribuiu com a revisão teórica, metodologia, coleta dos dados, tratamento dos dados, análise estatística dos dados, elaboração de mapas.

A segunda autora contribuiu com a conceitualização, sistematização dos dados, edição e revisão do artigo.

Referências

Agondi, R. C., Rizzo, L. V., Kalil, J., & Barros, M. (2012). Imunossenescência. *Rev. Bras. Alerg. Immunopatol.*, 35(5), 169–176.

Aleixo, N. C. R., & Lima, B. d. S. (2023). A geografia do clima na análise das doenças respiratórias em Manaus - AM. *Ciência Geográfica*, XXVII(2), 548–564.

Aleixo, N. C. R. (2014). Clima urbano e saúde: Uma análise a partir de indicadores socioambientais. *Revista GeoUECE*, 3(4), 194–216.

Almeida, R. B. (2019). *Análise socioambiental da morbidade da malária em Manaus – AM* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas]. TEDE UFAM

Andrade, F. V. S. d. (2011). *Estudo da associação entre material particulado emitido em queimadas e doenças respiratórias no município de Manaus, AM* [Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia]. <http://localhost:8080/tede/handle/tede/2096>

- Besancenot, J.-P. (2001). *Climat et santé*. Presses Universitaires de France - PUF.
- Boscá, P. M. (2021). *O impacto da emissão de material particulado sobre a saúde respiratória da população de Manaus no período de 2008 a 2019*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas]. TEDE UFAM.
- Campos dos Santos, L. K. (2023). *Análise dos condicionantes climáticos e do material particulado fino nas internações por pneumonia em manaus - amazonas*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas]. TEDE UFAM.
- CONAMA. Padrões de qualidade do ar, Resolução n.º 491 (2018a) (Brasil). http://n.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603
- Castro, M. B. (2021).. *Risco e vulnerabilidade socioambiental à diarreia aguda em Manaus-am*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas]. TEDE UFAM.
- Cutter, S. L. (2011). A ciência da vulnerabilidade: Modelos, métodos e indicadores. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, (93), 59–69. <https://doi.org/10.4000/rccs.165>
- El Niño e La Niña - CPTEC/INPE*. (s.d.). El Niño e La Niña -CPTEC/INPE. <http://enos.cptec.inpe.br/>
- Emergência climática em cidades amazônicas*. (2022). Emergência Climática em Cidades Amazônicas. <https://emergenciaclimaticaam.com.br/emergencia-climatica-em-cidades-amazonicas>
- FIOCRUZ. *Pneumonia*. (s.d.). Agência Fiocruz de Notícias. <https://agencia.fiocruz.br/pneumonia>
- FIRS. Fórum das Sociedades Respiratórias Internacionais. (2017). O impacto global da doença respiratória (2a ed.). Associação Latino-americana de Tórax (ALAT).
- Lima, J. R. C., Pordeus, A. M. J., & Rouquayrol, M. Z. (2013). Medida da saúde coletiva. In *Epidemiologia & saúde* (7ª ed., p. 736). MedBook.
- Marengo, J. A., & Souza Jr, C. (2018). *Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia*. Cemaden.
- Medeiros, A. S. S., Calderaro, G., Guimarães, P. C., Magalhaes, M. R., Morais, M. V. B., Rafee, S. A. A., Ribeiro, I. O., Andreoli, R. V., Martins, J. A., Martins, L. D., Martin, S. T., & Souza, R. A. F. (2017). Power plant fuel switching and air quality in a tropical, forested environment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(14), 8987–8998. <https://doi.org/10.5194/acp-17-8987-2017>
- Morbidade Hospitalar do SUS (SIH/SUS) – DATASUS*. (s.d.). DATASUS – Ministério da Saúde. <https://datasus.saude.gov.br/aceso-a-informacao/morbidade-hospitalar-do-sus-sih-sus/>
- Monteiro, C. A. de F. (2003). Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In *Clima urbano*. São Paulo: Contexto. Recuperado de https://biblio.fflch.usp.br/Monteiro_CAF_22_1356556_TeoriaEClimaUrbano.pdf
- Monteiro, C. A. de F. (1971). Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia*, (1), 1-21. Recuperado de https://biblio.fflch.usp.br/Monteiro_CAF_17_1349819_AnaliseRitmicaEmClimatologia.pdf
- Nascimento, L. (2020, 12 de novembro). *Pneumonia segue como principal causa de morte de crianças no país*. Agência Brasil. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2020-11/pneumonia-segue-como-principal-causa-de-morte-de-criancas-no-pais>
- Organização Mundial da Saúde. (2021). Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: partículas (PM2,5 e PM10), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Organização Mundial de Saúde. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> . Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- Pneumonia in Children Statistics - UNICEF DATA. (s.d.). UNICEF DATA. <https://data.unicef.org/topic/child-health/pneumonia/>

Sant'Anna Neto, J. L. (2001). Por uma Geografia do Clima- antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. *Terra Livre*, 2(17), 49–62. Recuperado de <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/339>

Santos, L. S. (2016). *Clima urbano e dengue (2000-2012) na cidade de Manaus - AM* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas]. TEDE UFAM.

Valebona, F. B. (2018). *Caracterização do material particulado fino e sua relação com dados epidemiológicos no período 2015–2016 em Manaus, am, brasil*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná]. eduCAPES.