

Artigo de Pesquisa

ANÁLISE ENTRE OS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E AS HOSPITALIZAÇÕES POR PNEUMONIA EM MANAUS-AMAZONAS**Analysis between the climatic conditioners and the hospitalizations due to Pneumonia in Manaus - Amazonas**Larissa Kristyne Campos dos Santos¹, Natacha Cíntia Regina Aleixo²

¹ Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geografia, Manaus, Brasil.
lskristyne@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7899-3514>

² Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geografia, Manaus, Brasil.
natachaaleixo@ufam.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-7021-0730>

Recebido em 31/08/2022 e aceito em 14/01/2023

RESUMO: O objetivo do estudo foi analisar a influência dos elementos climáticos e do material particulado fino (MP_{2,5}) nas internações por pneumonia na cidade de Manaus/AM. Para isso, baseou-se no referencial teórico-metodológico do Sistema Clima Urbano, enfatizando o subsistema físico-químico, proposto por Monteiro (1976). Foram coletados, de maneira secundária, dados dos elementos climáticos no INMET, dados referentes ao MP_{2,5} no SISAM/INPE e dados das internações por pneumonia no DATASUS do período de 2009 a 2019, analisados com técnicas estatísticas descritivas e coeficiente de correlação de Spearman®. Os resultados mostraram que a pneumonia foi a principal responsável pela internação da população, entre o grupo das causas de doenças respiratórias, as faixas etárias que mais sofrem com a ocorrência desta doença são os menores de 4 anos e acima de 60 anos. As internações por pneumonia possuem padrão sazonal, pois, o incremento dos casos ocorre nos meses mais chuvosos, apresentando altos índices de chuvas e umidade relativa do ar, e a redução das temperaturas e do MP_{2,5}. As hospitalizações dos idosos mostraram associações estatisticamente significativas de caráter fraco: positiva com a temperatura mínima e negativa com a umidade relativa do ar, contudo, as hospitalizações das crianças demonstraram associação positiva e fraca com a umidade relativa do ar e associação negativa e moderada com as temperaturas e MP_{2,5}. Neste contexto, entende-se que a relação entre clima e saúde é complexa e não mostra linearidade, muitas das vezes, assim, é necessário incorporar o ritmo diário, priorizado em estudos voltados para uma análise geográfica do clima.

Palavras-chave: Clima; Material Particulado Fino; Pneumonia.

ABSTRACT: The aim of the study was to analyze the influence of climatic elements and thin particulate material (PM_{2.5}) on hospitalizations for pneumonia in the city of Manaus/AM. Therefore, it was based on the theoretical-methodological framework of the Urban Weather System, emphasizing the physical-chemical subsystem, proposed by Monteiro (1976). Secondly, was collected data of the climatic elements at INMET, data regarding MP_{2.5} at SISAM/INPE and hospitalizations data due to pneumonia at DATASUS from the period 2009 to 2019, analyzed with descriptive statistical techniques and Spearman's® correlation coefficient. The results showed that pneumonia has been the

main responsible for the population's hospitalizations, among the group of causes of respiratory diseases, the age groups that suffer the most from the occurrence of this disease are those under 4 years old and over 60 years old. Hospitalizations due to pneumonia have a seasonal pattern, as the increase of the cases occurs in the rainiest months, with high rates of rainfall and relative air humidity, and a decrease in temperatures air and PM_{2,5}. The hospitalizations of the elderly showed statistically significant associations: positive with minimum temperature and negative with air humidity, while hospitalizations of children showed a positive association with air humidity and negative with temperatures and PM_{2,5}. In this context, it is understood that the relation between weather and health is complex and often does not show linearity, thus, it is necessary to incorporate the daily rhythm, prioritized in studies focused on a geographic analysis of the weather

Keywords: Weather; Fine Particulate Material; Pneumonia.

RESUMO: El objetivo del estudio fue analizar la influencia de los elementos climáticos y del material particulado fino (PM_{2,5}) en las internaciones por neumonía en la ciudad de Manaus/AM. Para ello, se apoyó en el marco teórico-metodológico del Sistema Climático Urbano, con énfasis en el subsistema fisicoquímico, propuesto por Monteiro (1976). Secundariamente se recolectaron datos de elementos climáticos en INMET, datos de MP_{2,5} en SISAM/INPE y datos de hospitalizaciones por neumonía en DATASUS de 2009 a 2019, analizados con técnicas de estadística descriptiva y coeficiente de correlación de Spearman®. Los resultados mostraron que la neumonía ha sido la principal responsable de la hospitalización de la población, dentro del grupo de causas de enfermedades respiratorias, los grupos de edad que más padecen la aparición de esta enfermedad son los menores de 4 años y mayores de 60 años. Las hospitalizaciones por neumonía tienen un patrón estacional, ya que el aumento de casos ocurre en los meses más lluviosos, con índices elevados de precipitaciones y humedad relativa del aire, y disminución de las temperaturas y PM_{2,5}. Las hospitalizaciones de ancianos presentaron asociaciones estadísticamente significativas: positivas con temperatura mínima y negativas con humedad del aire, mientras que las hospitalizaciones de niños mostraron asociación positiva con humedad del aire y negativa con temperaturas y PM_{2,5}. En ese contexto, se entiende que la relación entre clima y salud es compleja y muchas veces no muestra linealidad, por lo que es necesario incorporar el ritmo diario, priorizado en estudios dirigidos al análisis geográfico del clima.

Palabras llave: Clima; Material de Partículas Finas; Neumonía.

INTRODUÇÃO

A alternância dos tipos de tempo e padrões climáticos interfere na dinâmica ambiental e na fisiologia humana, propiciando riscos à gênese e/ou desenvolvimento de diversos tipos de enfermidades nas populações humanas mais fragilizadas das cidades, como as doenças respiratórias.

O processo saúde-doença de um indivíduo é complexo, pois está diretamente relacionado às condições do ambiente, abordadas desde a antiguidade clássica, com Heródoto (500 a. C. - na civilização egípcia) e Hipócrates (480 a. C. - na Grécia Antiga). A obra "Dos ares, das águas, dos lugares" de Hipócrates foi o primeiro estudo no campo da Geografia da Saúde a abordar o papel das condições do ambiente na gênese, causalidade e agravo das patologias (MURARA, 2012, p. 6).

Nesta abordagem multidimensional, os elementos climáticos podem afetar a saúde humana de forma direta (sensação de conforto, morbidade e mortalidade por doenças sistêmicas) e indireta (doenças infecciosas transportadas por vetores: ar, água, solo e alimentos), pois o corpo humano está em permanente contato com as

condições do seu ambiente atmosférico pelo intermédio de trocas gasosas, térmicas e hídricas (PITTON e DOMINGOS, 2004. P. 77-78).

Segundo Duarte Pereira (2007, p. 10-11) o termo “morbidade” pode ser entendido como o conjunto de indivíduos que contraíram doenças num dado intervalo de tempo em uma determinada população, enquanto a “mortalidade” se refere ao número total de indivíduos que morreram durante um intervalo de tempo específico em decorrência de uma determinada doença. Ambos os termos são comumente usados como Indicadores de Saúde.

Além disso, nos grandes centros urbanos e nas cidades de médio porte, existem fatores agravantes a alguns grupos de doenças, como a poluição do ar, para as doenças respiratórias e cardiovasculares, conforme as condições sociais, econômicas e ambientais vividas. Normalmente, ocorre a relação do aumento/diminuição de agravos respiratórios durante o período sazonal, nos diferentes tipos climáticos do território brasileiro (ALEIXO, 2012, p. 2).

Devido aos graves problemas respiratórios, principalmente em idosos, crianças e pessoas com doenças crônicas pré-existentes, o material particulado (MP) com diâmetro 2,5 micrômetros (μm) se destaca entre os poluentes atmosféricos.

As partículas finas do material particulado de 2,5 μm ou inferior possuem um tamanho menor, o que facilita a inalação desse poluente, a ponto de se instalarem no sistema respiratório inferior, depositando-se, essencialmente, nas vias aéreas pulmonares ou na região traqueobrônquica (GUARIEIRO e GUARIEIRO, 2013, p. 373).

Outra característica fundamental do MP_{2,5} é o fato de permanecer suspenso na atmosfera por períodos mais longos, que podem variar de dias a semanas, dependendo dos elementos meteorológicos e fenômenos climáticos ativos. Esses fatores podem influenciar se as partículas de MP_{2,5} ficam aprisionadas em uma determinada área, assim aumentando a sua concentração, ou se dispersam para locais distantes das suas fontes de emissão, alcançando outros centros urbanos em escala regional e global, conseqüentemente, um número maior de pessoas estará em situação de risco com os efeitos altamente prejudiciais do referido poluente (FERNANDES, 2017, 26).

Essas partículas quando inaladas mais profundamente podem contribuir para o desenvolvimento de doenças de caráter crônico e agudo, no último caso, por exemplo, a ocorrência da pneumonia, que é o tipo de infecção respiratória aguda analisada neste trabalho.

As infecções do trato respiratório inferior têm sido a principal causa de óbitos em crianças menores de cinco anos, fora do período neonatal e, em conjunto com pneumonia, são as principais responsáveis pelos óbitos, representando mais de 4 milhões de vidas perdidas por ano. A pneumonia é a segunda causa de óbitos na fase prematura e um dos motivos mais frequentes de hospitalização (FIRS, 2017, p. 18).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, no ano de 2019, a pneumonia foi responsável por 14% dos óbitos de crianças com idade inferior a cinco anos em todo o mundo, com 740.180 mortes (WHO, 2021).

No estado do Amazonas, de acordo com o Banco de Dados do Sistema Único de Saúde, com base na série temporal de 2008 a 2017, identificou-se que o grupo das doenças respiratórias foi a principal causa das internações hospitalares da população residente, com 167.268 casos e, em segundo lugar, as doenças do aparelho digestivo, com 166.936 casos. Na cidade de Manaus, capital amazonense, verificou-se que a pneumonia foi a principal responsável pelos atendimentos nos últimos 10 anos, entre as patologias do grupo de causas de doenças respiratórias (DATASUS, 2020).

Diante deste contexto, o objetivo deste artigo foi analisar a influência dos elementos climáticos, integrados ao material particulado fino (MP_{2,5}), nas internações por pneumonia no município de Manaus/AM.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O recorte espacial do estudo foi o município de Manaus (Figura 1), localizada no estado do Amazonas inserido na Região Norte do Brasil. O município está situado na mesorregião Centro Amazonense e microrregião Manaus, com uma área territorial de 11.401,092km² e área urbanizada de 277,09 km² e, uma população residente estimada em 2.255.903 habitantes para o ano de 2021. No último censo populacional em 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o município possuía 1.802.014 habitantes e uma densidade demográfica de 158,06 hab./km² (IBGE, 2021).

O perímetro urbano de Manaus é cortado por uma vasta rede de drenagem, que se forma basicamente pelas quatro bacias hidrográficas: Educandos, São Raimundo, Tarumã e Puraquequara. Além disso, o relevo da cidade é caracterizado por interflúvios tabulares (platôs) com encostas convexas, côncavas e retilíneas, e cotas altimétricas abaixo do limite de 120 metros de altitude. Em termos políticos e administrativos, existem 63 bairros na área urbana de Manaus, que estão categorizados em seis zonas urbanas territoriais (OLIVEIRA; RABELLO, 2010; MANAUS, 2014).

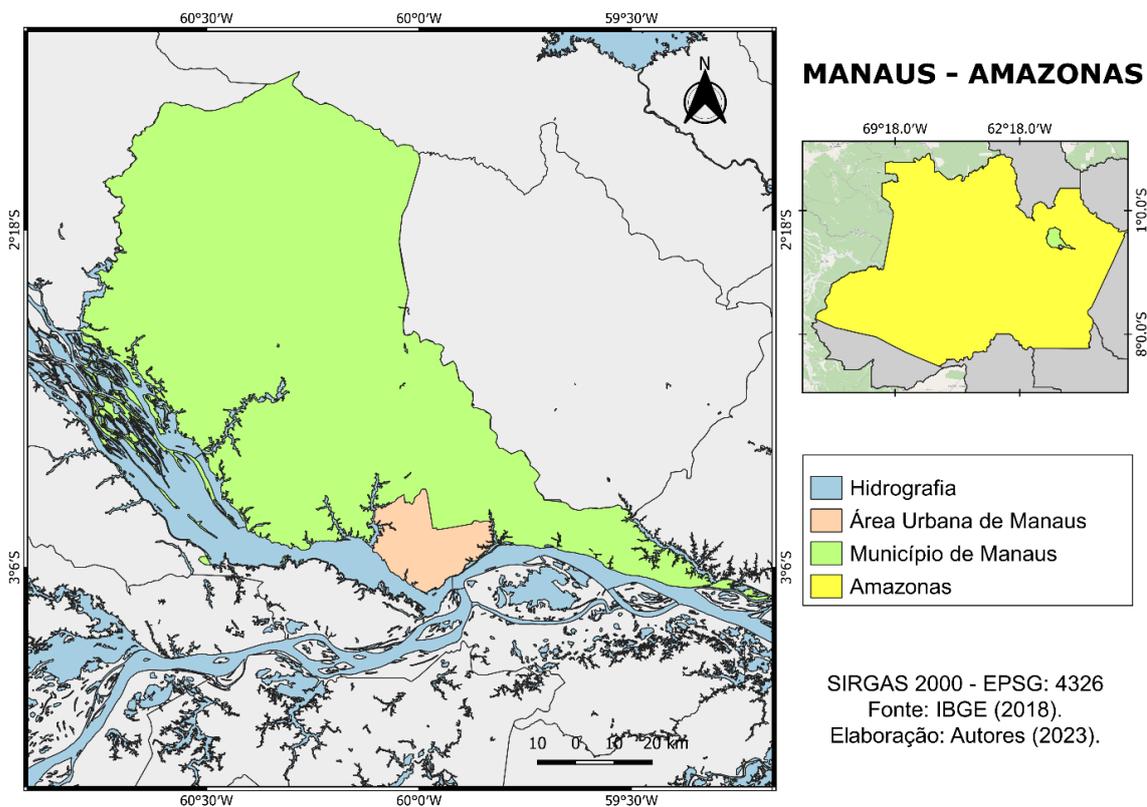


Figura 1. Mapa da área de estudo. **Fonte:** SANTOS, (2023).

O município de Manaus está inserido na zona climática das latitudes baixas, especificamente no domínio equatorial (quente e úmido) com um e dois meses menos chuvosos e/ou de subseca. Devido à proximidade da região amazônica brasileira com a faixa equatorial, há uma maior incidência de energia solar, como resultado o município apresenta uma condição de regularidade térmica anual e uma notável variação no regime de chuvas ao longo do ano. Os meses de junho a outubro são caracterizados por apresentarem os menores registros de chuvas e as temperaturas mais elevadas, principalmente em agosto, um mês de menor pluviosidade. O período mais chuvoso de Manaus abrange os meses de março e abril (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 153-155).

A normal climatológica do município de Manaus no período de 1991-2020 mostra que a precipitação média anual foi de 2362,4 mm. A média anual da temperatura máxima e mínima do ar foi de 32,3 °C e 24 °C, respectivamente. Em relação à variável umidade relativa do ar, a média anual para o município estudado foi de 81 % (INMET, 2022).

Técnicas e procedimentos metodológicos

A análise da dinâmica climática, concomitante a poluição do ar, baseou-se nas concepções teórico-metodológicas de Monteiro (2003) na sua obra “Teoria e Clima Urbano”, com ênfase no subsistema físico-químico.

O subsistema físico-químico está relacionado à qualidade do ar, que é o referencial de estudo das formas de produção socioeconômica do espaço geográfico, provocando alterações nas propriedades químicas da atmosfera, a ponto de tornar-se insalubre para os cidadãos. Neste subsistema é necessário conhecer os mecanismos de difusão da carga poluidora dos setores onde há emissão para aqueles outros que acabam se contaminando. É uma carga que se difunde no interior da cidade e tende a ser exportada para o ambiente circundante, obtendo-se como efeitos diretos à saúde humana, as doenças respiratórias, circulatórias, oftalmológicas, entre outras (MONTEIRO, 2003; ALEIXO, SANT'ANNA NETO, 2016).

Para caracterização climática do município de Manaus, coletaram-se os dados secundários da precipitação pluvial, umidade relativa do ar e temperatura máxima e mínima, cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET no período de 2009 a 2019 (INMET, 2022). O critério de seleção dessa série temporal para o trabalho baseou-se no intervalo de tempo dos dados de internações hospitalares por mês de atendimento disponibilizados na plataforma virtual do SUS.

As informações da morbidade hospitalar por pneumonia da população residente do município estudado foram coletadas de maneira secundária no recorte temporal de 2009 a 2019, obtidos via o banco de dados do Departamento do Sistema Único de Saúde do Brasil - DATASUS (DATASUS, 2022), oriundo do Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS) no Ministério da Saúde.

Para a análise temporal das internações hospitalares aplicou-se a Taxa de Morbidade ou Cálculo da Taxa de Internação em escala mensal, considerando a população geral. Operacionalmente, a Taxa de Morbidade ou Cálculo da Taxa de Internação é medida pelo quociente da relação entre o número de casos de uma dada doença e o número de indivíduos da população, em seguida, o resultado é multiplicado por uma potência de base 10, conforme a sugestão de Lima; Pordeus; Rouquayrol (2013) conforme equação (1). No caso deste estudo, assumiu 10^4 equivalente a 10.000 para expressar a morbidade hospitalar por pneumonia em Manaus.

$$\text{Equação 1: Coeficiente de morbidade: } \frac{\text{Número de casos de uma doença}}{\text{População}} \times 10.000$$

As estimativas dos níveis de material particulado fino MP2,5 foram obtidas no banco de dados do Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde - SISAM (SISAM, 2022) no período supracitado, que faz parte dos sistemas de monitoramento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados foram tratados com técnicas estatísticas descritivas e exploratórias, também se realizou a integração das variáveis coletadas, utilizando representações gráficas, bem como a aplicação do coeficiente de correlação de Spearman, para verificar o grau de associação entre as variáveis respostas/desfecho (internações por pneumonia) e as explicativas (precipitação pluvial, máximas e mínimas, umidade relativa do ar e MP2,5), por meio do programa SPSS Statistics versão 26.0. Os

valores dos coeficientes de correlação de Spearman foram interpretados com base nas propostas dos autores Vieira (2011) e Moura (2013, p. 67), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do grau de correlação no coeficiente de Spearman.

Coeficiente	Classificação
$r = 1$ ou -1	Correlação Perfeita
$0,75 < r < 1,00$ ou $-1,00 < r < -0,75$	Correlação Forte
$0,50 < r < 0,75$ ou $-0,75 < r < -0,50$	Correlação Moderada
$0,25 < r < 0,50$ ou $-0,50 < r < -0,25$	Correlação Fraca
$0 < r < 0,25$ ou $-0,25 < r < 0$	Correlação Pequena ou Nula

Fonte: VIEIRA (2011) e MOURA (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar o perfil de morbidade hospitalar da população residente no município de Manaus, considerando o recorte temporal de 2009 a 2019, constata-se que as principais causas de internações no SUS foram pelo grupo de gravidez, parto e puerpério que, normalmente, representa a maior quantidade de internações hospitalares, seguidas das doenças do aparelho digestivo e, em terceiro lugar, as doenças do aparelho respiratório (DATASUS, 2022).

Entre o grupo das causas de doenças respiratórias, a pneumonia foi o principal fator contribuinte para as internações hospitalares da população no município estudado, respondendo por 63,1% e as demais patologias deste grupo representam 36,9%.

A pneumonia foi responsável por 75.073 internações e uma média anual de 6.824. Na Figura 2 observa-se que os anos entre 2011 e 2015 ultrapassaram essa média, com destaque para o ano de 2012, que registrou 7.915 atendimentos; os anos de 2013 e 2014, com 8.029 e 7.974 casos notificados respectivamente, assim, foram considerados os anos mais “problemáticos” para o Sistema Único de Saúde de Manaus. Por outro lado, 2009 e 2010, bem como os anos de 2016 a 2019, ficaram abaixo da média, destacando-se o ano de 2009 como o ano com os menores totais anuais em todo o período analisado.

A partir de 2016, ocorreu uma queda mais acentuada das internações, variando entre 6.150 e 6.550. Todavia, embora as hospitalizações por pneumonia estejam em queda, ainda assim é a principal responsável pela procura de atendimentos nos hospitais por morbidade e mortalidade respiratória em escala estadual e municipal (Figura 2).

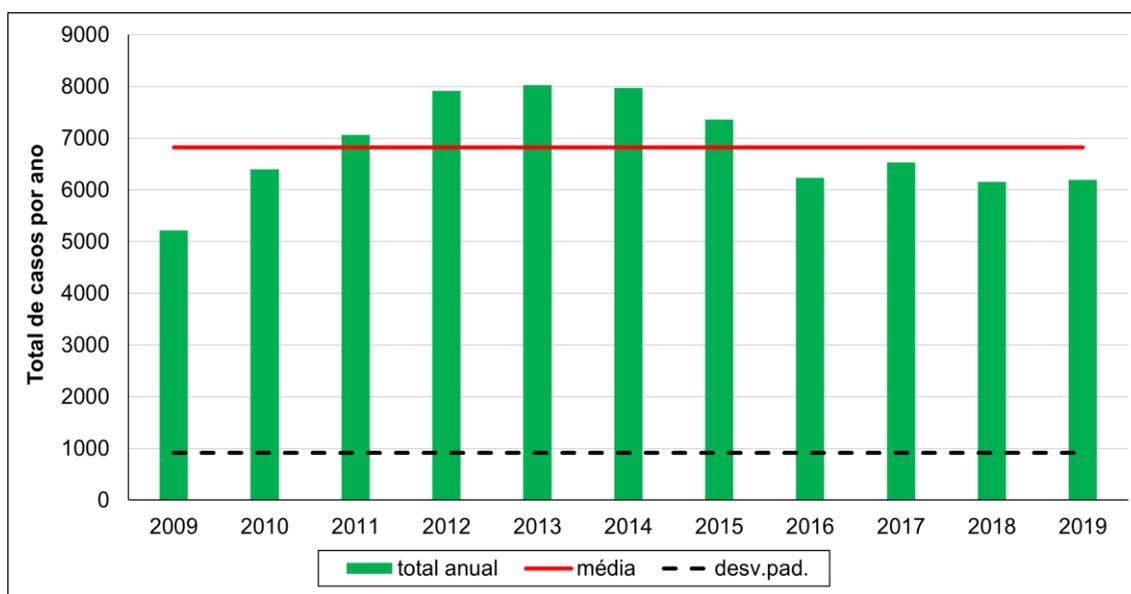


Figura 2. Quantidade de internações anuais por pneumonia da população residente em Manaus (2009-2019). **Fonte:** DATASUS, (2021).

Na Figura 3 pode-se identificar os grupos etários que mais sofrem com a ocorrência da pneumonia, assim, se predomina na faixa etária de 0 a 4 anos de idade, as crianças, seguida de indivíduos com acima de 60 anos de idade, os idosos.

Isso se deve à sensibilidade biológica na infância, crianças com menos de dois anos ainda carecem de um mecanismo de defesa totalmente consolidado e precisam de mais oxigênio, alimentação e proteção do ambiente externo, é provável que o próprio sistema imunológico seja o maior responsável pela ocorrência de doenças respiratórias nessa idade. Contudo, a partir dos dois até os cinco anos de idade, a causa da ocorrência destas doenças pode estar associada também aos fatores socioambientais, ultrapassando os fatores fisiológicos (ALEIXO, 2012).

Quanto ao grupo etário dos idosos, a sensibilidade ao acometimento de doenças respiratórias pode estar associada à imunossenescência, que se refere ao “envelhecimento imunológico que está associado ao progressivo declínio da função imunológica e consequente aumento da suscetibilidade a infecções, doenças autoimunes e câncer, além de redução da resposta vacinal”. Algumas consequências desse envelhecimento referem-se à diminuição da mobilidade da caixa torácica e dos cílios do epitélio respiratório, bem como a perda da eficiência de tosse (AGONDI *et al.*, 2012, p. 170; FRANCISCO *et al.*, 2006, p. 429).

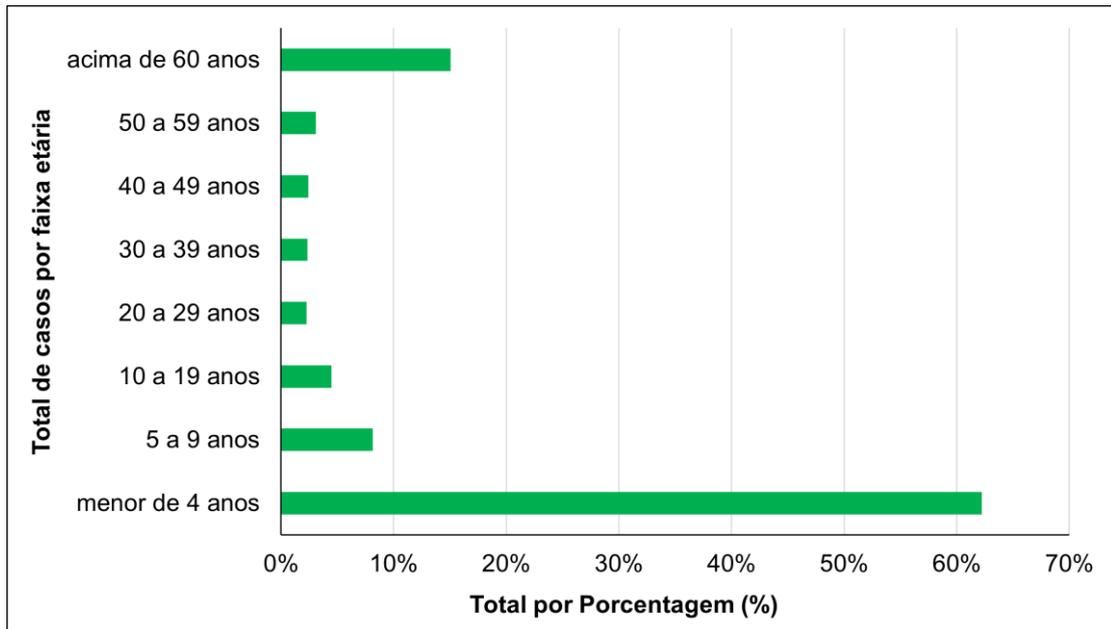


Figura 3. Quantidade de internações por pneumonia segundo a faixa etária em Manaus (2009-2019). **Fonte:** DATASUS, (2021).

Para compreender o quanto dos atendimentos por pneumonia é influenciado pela variabilidade dos elementos climáticos, tornaram-se necessárias análises em escalas temporais menores, desse modo, a Figura 4 mostra a distribuição mensal e sazonal das taxas médias de internações hospitalares por esta doença.

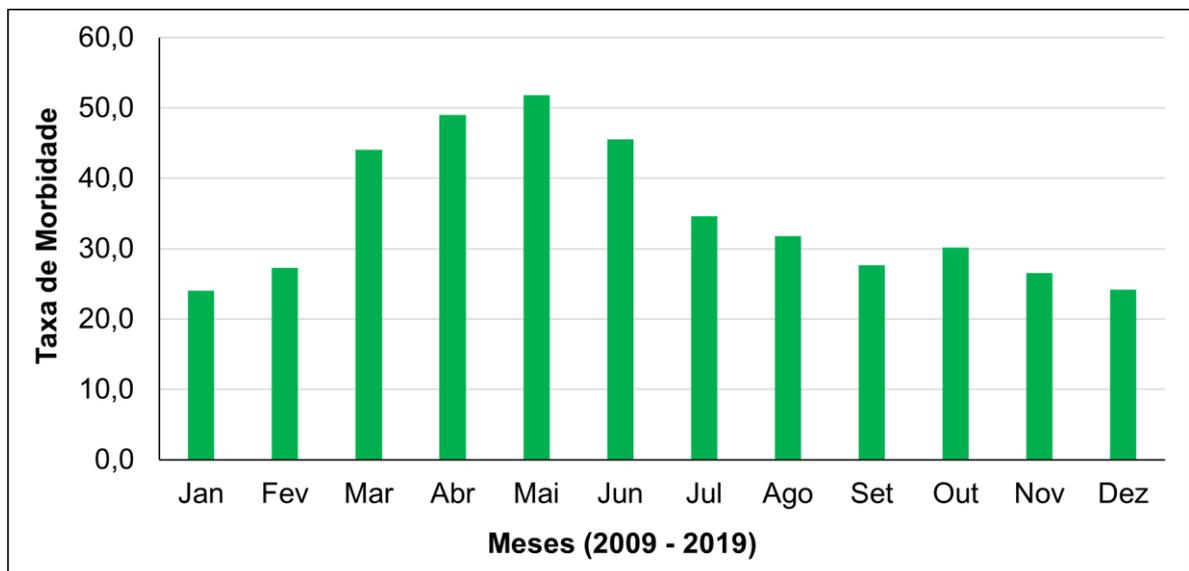


Figura 4. Taxas mensais (por 10 mil habitantes) das internações hospitalares por pneumonia em Manaus (2009-2019). **Fonte:** DATASUS, (2021).

Apoiado na Figura 4 realizaram-se as seguintes inferências: As maiores taxas mensais de internações hospitalares por pneumonia ocorrem entre os meses de março a junho, sendo o mês de maio com a taxa mais elevada, com 51,8 internações por 10 mil habitantes. Entretanto, as menores taxas mensais ao longo dos anos são evidenciadas nos meses de dezembro e janeiro, com taxa de morbidade de 24,2 e 24,0 por 10 mil habitantes, de maneira respectiva.

Para verificar a influência das flutuações climáticas sazonais, concomitante o material particulado fino (MP_{2,5}) na ocorrência da pneumonia, realizou-se a integração das variáveis estudadas por meio de uma representação gráfica, como pode ser visualizada na Figura 5.

Na região amazônica, os períodos climáticos sazonais têm efeitos significativos no cotidiano da sua população (ALEIXO e SILVA NETO, 2015, p. 1179). Observa-se que a sazonalidade mais chuvosa, denominada de “inverno amazônico”, se inicia em dezembro estendendo-se até o mês de maio, período em que as variáveis umidade relativa do ar e pluviosidade apresentam os valores elevados.

O aumento mais expressivo dos índices de pluviosidade ocorre nos meses de fevereiro, março e abril, com acumulado próximo ou acima de 400 mm e a umidade relativa do ar com valores que ultrapassam 80 %. No entanto, ao longo deste mesmo período, há um declínio nas temperaturas máximas e mínimas, em torno de 31 °C e 24 °C, respectivamente.

A redução dos totais mensais de precipitação em Manaus começa em junho e alcança até o mês de novembro, os valores tornam-se mais críticos no trimestre de julho-agosto-setembro, já as temperaturas máximas e mínimas ficam mais elevadas, com valores acima de 35 °C e 26 °C, por causa da queda nos índices de pluviosidade (<100,0 mm) e umidade relativa do ar (<70 %). Este período sazonal menos chuvoso da região é conhecido localmente por “verão amazônico”.

A ocorrência de chuvas na Amazônia está relacionada a importantes sistemas atmosféricos de larga escala, como a Massa de Ar Equatorial Continental, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), circulação das células de Hadley e Walker e as anomalias das temperaturas da superfície do mar (TSM) do Atlântico e Pacífico. Além disso, a influência da Alta da Bolívia (AB) que atua durante os meses do verão e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que se forma na primavera-verão. Também é influenciada pela entrada dos sistemas frontais nos meses de junho a outubro, a frequência das linhas de instabilidade tropical e sistemas convectivos que ocorrem com a época da seca na Amazônia Central (ALEIXO e SILVA NETO, 2015; 2019).

Além disso, a variabilidade interanual do regime de precipitação pluvial na Amazônia está fortemente ligada aos fenômenos do El Niño Oscilação Sul (ENOS) e La Niña, que ocorrem no Pacífico Equatorial (MARENGO e NOBRE, 2009).

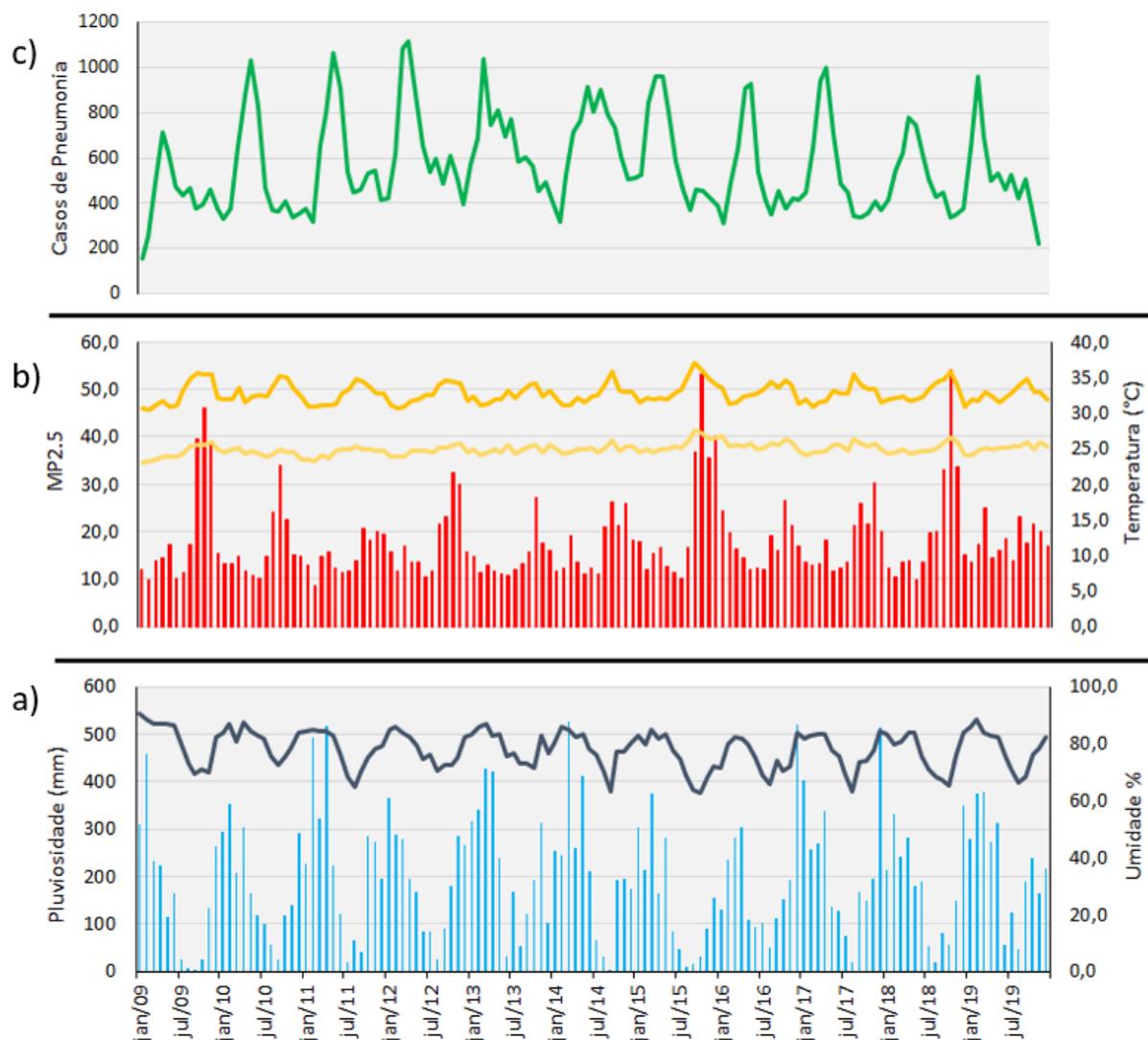


Figura 5. Comportamento mensal dos elementos climáticos, do MP2,5 e das internações por pneumonia em Manaus de 2009 a 2019. **a)** pluviosidade (mm) em barras de azul claro e a umidade relativa do ar (%) em linhas de azul escuro; **b)** MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em barras vermelhas e a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em tons de laranja e **c)** casos de Pneumonia em linhas verdes. **Fonte:** DATASUS; INMET, SISAM/INPE, (2022).

Conforme a figura acima pode-se entender que o regime pluviométrico possui um impacto significativo nas sazonalidades climáticas e existe pouca variação interanual na temperatura do ar (Figura 5b), que pode ser explicada pelo tipo climático em que o município está inserido.

O município de Manaus possui um clima equatorial quente e úmido, com temperaturas elevadas e constantes ao longo das estações do ano, com exceção dos dias com a aparição das friagens, que ocorrem com a maior frequência a partir do mês de junho, estendendo-se até outubro, principalmente na região sul do Amazonas, além de o município caracteriza-se também pelos altos índices

pluviométricos, bem como a umidade do ar, ambos bem distribuídos durante o ano todo, por conta da evapotranspiração da Floresta Amazônica, entre outros (ALEIXO, 2020).

A Figura 5b apresenta o comportamento da série de material particulado fino (MP_{2,5}) no período de 2009 a 2019, na qual se verificou que as partículas do MP_{2,5} possuem um padrão sazonal, acompanhado das flutuações climáticas da região amazônica.

O incremento médio nas concentrações de MP_{2,5} ocorre no período sazonal menos chuvoso de Manaus, principalmente entre os meses de agosto e novembro, ultrapassando 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, destacando-se o mês de outubro de 2018 com concentrações de 54,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a maior média mensal. Por outro lado, no período mais chuvoso são verificados os valores mais baixos do MP_{2,5} entre os meses de janeiro a julho, com destaque para o mês de fevereiro de 2011, com concentrações de 8,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estimados, a menor média mensal da série temporal analisada.

Esses achados também são identificados no estudo de Valebona (2018), enfatizando que a cidade de Manaus é sazonalmente impactada por plumas atmosféricas provenientes da queima de biomassa, sendo consequência das mudanças no uso do solo no seu entorno. Em relação ao MP_{2,5} constatou-se que entre os anos de 2015 e 2016, as maiores concentrações ocorreram durante a época seca de Manaus, período em que aumenta a frequência de focos de queimadas na região amazônica.

Ademais, Silva (2020) também confirmou a tendência sazonal das concentrações de MP_{2,5} em Manaus, os valores menores no período chuvoso e os maiores no período seco. As possíveis fontes emissoras das concentrações podem estar associadas à queima de combustíveis inflamáveis por veículos automotores e as contribuições do Distrito Industrial da cidade.

No que diz respeito à morbidade hospitalar da pneumonia (Figura 5c), o incremento dos casos ocorre, frequentemente, entre os meses de março a junho, considerado os meses mais chuvosos devido à forte atividade convectiva da região, caracterizando-se por altos registros de precipitação e umidade relativa do ar. Neste intervalo de tempo, as internações ultrapassam 600 casos mensais. O mês de abril de 2012 apresenta o maior quantitativo de hospitalizações, com 1.115 casos.

Como resultado, embora ocorram em proporções menores às da sazonalidade mais chuvosa, a quantidade de casos ainda se mantém alta ao longo da época seca (entre julho e outubro). As quantidades menos expressivas das internações por pneumonia se tornam mais evidentes entre os meses de dezembro a fevereiro, meses que marcam o início do período chuvoso na transição da estação seca para a estação chuvosa. No período bimestral, dezembro e janeiro, registram frequentemente atendimentos hospitalares que não excedem 425 casos por mês. O menor total de casos mensais foi observado em janeiro de 2009 em comparação aos outros meses, com 152 internações relacionadas à pneumonia (Figura 5c).

Correlações climatólogicas

A seguir, apresentamos a correlação sazonal dos elementos climáticos e MP2,5 com o total de internações hospitalares por pneumonia para os grupos etários, especificamente as crianças e os idosos. Cabe ressaltar que foi realizado também para a população em geral, porém, houve uma ausência de correlações estatísticas significativas.

Na Tabela 2, levando em consideração o período chuvoso de Manaus que compreende do mês de dezembro a maio, observou-se a falta de associações significativas por parte dos pacientes infantis. Contudo, nos pacientes idosos foram identificadas duas correlações com significância estatística: positiva com a temperatura mínima ($r = 0,286$ e $p = 0,020$) e negativa com a umidade relativa do ar ($r = 0,295$ e $p = 0,016$), ambas apresentam correlações de caráter fraco, por isso, não é assegurado inferir que as hospitalizações de idosos por esta patologia ocorrem quando há registros elevados de temperatura mínima, quando a umidade relativa do ar se encontra em valores mais baixos.

Tabela 2. Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e internações por pneumonia dos idosos e crianças no período chuvoso em Manaus (2009-2019).

Grupo Etário	Precipitação	Temp. máx.	Temp. mín.	Umidade	MP2,5
Crianças	-0,153	0,130	0,096	0,040	-0,115
Idosos	0,006	0,208	0,286*	-0,295*	-0,005

Nota: (*) Valor estatisticamente significativo dentro de nível de significância de $p \leq 0,05$.

(**) Valor estatisticamente significativo dentro de nível de significância de $p \leq 0,01$.

Fonte: SANTOS (2022).

Para averiguar o grau de associação entre as variáveis mencionadas para os grupos etários (crianças e idosos) durante o período seco, considerou-se a série temporal entre os meses de junho a novembro (Tabela 3).

Tabela 3. Correlação de Spearman entre os elementos climáticos, MP2,5 e internações por pneumonia dos idosos e crianças no período seco em Manaus (2009-2019).

Grupo Etário	Precipitação	Temp. máx.	Temp. mín.	Umidade	MP2,5
Crianças	0,052	-0,523**	-,449**	0,315**	-0,580**
Idosos	0,051	0,013	0,291*	-0,259*	0,130

Nota: (*) Valor estatisticamente significativo dentro de nível de significância de $p \leq 0,05$.

(**) Valor estatisticamente significativo dentro de nível de significância de $p \leq 0,01$.

Fonte: SANTOS (2022).

Desse modo, no grupo etário infantil, foram verificadas no período seco de Manaus, quatro associações com significância estatística:

- Correlação moderada negativa entre o MP2,5 e as internações por pneumonia em crianças ($r = -0,580$ e $p = 0,000$);
- Correlação moderada negativa entre a temperatura máxima e as internações por pneumonia em crianças ($r = -0,523$ e $p = 0,000$);
- Correlação fraca negativa entre a temperatura mínima e as hospitalizações por pneumonia em crianças ($r = -0,449$ e $p = 0,000$);

d) Correlação fraca positiva entre a umidade do ar e as hospitalizações por pneumonia em crianças ($r = 0,315$ e $p = 0,010$).

Foi possível inferir que a queda no número de atendimentos por parte das crianças ocorreu no período em que as partículas do MP2,5 e as temperaturas máxima e mínima estão acentuadas, entretanto, quando os registros de umidade do ar se elevam no município, bem como as chuvas constantes, a população infantil tende a ficar mais aglomerada em locais fechados e úmidos com pouca ventilação, isso facilita a transmissão viral e a busca por atendimentos nos hospitais desta faixa etária aumenta.

Tal situação corrobora com estudos semelhantes de avaliação dos efeitos climáticos e da poluição do ar na saúde humana em Manaus, com foco no grupo etário infantil, como o estudo de Andrade Filho (2011) que comprovou que as maiores taxas médias mensais de internações por doenças respiratórias em crianças são mais bem evidenciadas no período mais úmido da região, principalmente, nos meses de março, abril e maio, período em que as concentrações médias de MP2,5 estão menores na atmosfera.

No que diz respeito às internações de idosos por esta patologia, verificam-se duas associações fracas estaticamente significativa: uma associação positiva com a temperatura mínima ($r = 0,291$ e $p = 0,018$) e outra negativa com a umidade relativa do ar ($r = - 0,259$ e $p = 0,036$). Isso mostra que no momento que os valores da temperatura mínima aumentam e a umidade relativa do ar fica atenuada, ocorre um crescimento na quantidade de internações hospitalares por parte dos idosos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou que as maiores taxas médias mensais de hospitalizações por pneumonia para o município de Manaus, no recorte temporal de 2009 a 2019, ocorreu no período chuvoso, principalmente entre os meses de março a junho. Com isso, embora ocorram em proporções inferiores às da sazonalidade chuvosa, o número de casos continuou elevado ao longo do período seco (entre julho e outubro). As menores taxas médias mensais foram verificadas nos meses que marcam o início do período chuvoso na transição do período seco para o período chuvoso, sendo os meses de dezembro e janeiro. As crianças (menores de 4 anos) e os idosos (acima de 60 anos) são os grupos mais sensíveis à ocorrência da pneumonia em Manaus.

Com relação às séries temporais das concentrações de MP2,5 foi observado que os níveis médios mensais variaram entre 8,5 e 54,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, demonstrando um comportamento sazonal, acompanhando as flutuações climáticas da região amazônica, tornando-se mais evidentes na atmosfera durante a época seca (entre agosto e novembro), e não apresentou associações diretas com a morbidade hospitalar por pneumonia.

Verificou-se que as hospitalizações por parte das crianças demonstram uma distribuição sazonal com a umidade relativa do ar, foi identificada associação direta

com significância estatística, enquanto os idosos mostraram associação estatisticamente significativa positiva com a temperatura mínima, ambos de caráter fraco.

Vale ressaltar que há limitações nos métodos estatísticos utilizados no estudo, por exemplo, a técnica de correlação linear para analisar dados de natureza complexa. A interação entre os efeitos do clima e da poluição do ar na saúde humana é um desafio, visto que na maioria das vezes esta relação não se mostra de forma linear, como uma relação de causa e efeito, em razão de que a manifestação dos diferentes tipos de patologias nas cidades também é influenciada por múltiplos fatores sociais. Assim, sugere-se para a continuação de novos estudos a inserção de componentes socioeconômicos e ambientais para a análise do processo saúde-doença de um indivíduo ou população.

Portanto, existem outras técnicas estatísticas mais sofisticadas para analisar dados de contagem, no caso das doenças respiratórias, como a distribuição de Poisson e o Risco Relativo que evidenciam a defasagens de dias ou até mesmo de meses nesta relação climopatológica. Além disso, para compreender o quanto da doença estudada é influenciado pela variabilidade dos elementos do clima e tipos de tempo são mais bem explicados em escalas de tempo mais curtas, como o ritmo diário, uma análise bastante priorizada em estudos voltados para a análise geográfica do clima.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de Bolsa de Mestrado por meio do Edital nº052/2019. Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas pela concessão de apoio técnico e administrativo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Larissa Kristyne Campos e Natacha Cíntia Regina Aleixo. **Metodologia:** Larissa Kristyne Campos dos Santos. **Análise formal:** Natacha Cíntia Regina Aleixo. **Pesquisa:** Larissa Kristyne Campos dos Santos e Natacha Cíntia Regina Aleixo. **Recursos:** Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas. **Preparação de dados:** Larissa Kristyne Campos dos Santos. **Escrita do artigo:** Larissa Kristyne Campos dos Santos. **Revisão:** Natacha Cíntia Regina Aleixo. **Supervisão:** Natacha Cíntia Regina Aleixo. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

AGONDI, R. C.; RIZZO, L. V.; KALIL, J.; BARROS, M.T. Imunossenescência. **Revista brasileira de alergia e imunopatologia**. v. 35, n. 5, p. 169-176, 2012.

REVISTA GEONORTE, V.14, N.43, p.97-114, 2023.

(ISSN 2237 - 1419)



[10.21170/geonorte.2023.V.14.N.43.97.114](https://doi.org/10.21170/geonorte.2023.V.14.N.43.97.114)

ALEIXO, N. C. R. **Pelas lentes da climatologia e da saúde pública: doenças hídricas e respiratórias na cidade de Ribeirão Preto/SP.** 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

ALEIXO, N.C.R. Temos nosso próprio tempo: Desafios e perspectivas da construção social e cultural do clima na Amazônia. In.: SANT'ANNA NETO, J. L. (org.). **Clima, Sociedade e Território.** Jundiaí: Paco Editorial, 2020, p. 67-91.

ALEIXO, N. C. R.; SANT'ANNA NETO, J. L. Subsistema Físico Químico: Análise da poluição do ar e hospitalizações por DPOC. **Revista de Geografia.** Recife, v. 33, n. 4, p. 64-87, 2016.

ALEIXO, N. C. R.; SILVA NETO, J. C. A. da. Precipitação e riscos em Tefé - AM. **Revista Brasileira de Geografia Física.** v. 8, n. 4, p. 1176-1190, 2015.

ALEIXO, N. C. R.; SILVA NETO, J. C. A. da. Anos-padrão e tendências da precipitação pluvial na região do Médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Revista Franco-Brasileira de Geografia.** v. 1, n. 43, p. 1-16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.25065>

ANDRADE FILHO, V. S. de. **Estudo da associação entre material particulado emitido em queimadas e doenças respiratórias no município de Manaus, AM. Manaus.** 2011. Dissertação (mestrado em Clima e Ambiente) Programa de Pós-graduação de Clima e Ambiente (CLIAMB), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2011.

DATASUS. **Morbidade Hospitalar do SUS (SIH/SUS).** Rio de Janeiro, RJ: Ministério da Saúde, [2020]. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/aceso-a-informacao/morbidade-hospitalar-do-sus-sih-sus/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

DUARTE PEREIRA, S. **Conceitos e Definições da Saúde e Epidemiologia usados na Vigilância Sanitária.** Centro de Vigilância Sanitária, São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/epid_visu.pdf. Acesso em: 10 de fevereiro, 2023

FERNANDES, K. S. **Material particulado fino (MP2,5) interno de um ambiente escolar urbano influenciado pela queima de indústrias oleicas.** 2017. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, p. 1 - 85, 2017.

FISR – Fórum Internacional de Sociedades Respiratórias. **O impacto global da doença respiratória.** 2. ed. [português]. México: Asociación Latinoamericana de Tórax, 2017. Disponível em: https://theunion.org/sites/default/files/2020-08/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_port.pdf. Acesso em: 30 ago. 2022.

FRANCISCO et al. Fatores associados à doença pulmonar em idosos. *Rev. Saúde Pública*. v. 40, n. 3, p. 428-435, 2006

GUARIEIRO, L. L. N.; GUARIEIRO, A. L. N. Vehicle Emissions: What Will Change with Use of Biofuel? In: ZHEN FANG (Ed.). **Biofuels - Economy, Environment and Sustainability**. IntechOpen, 2013. p. 357-385. DOI: 10.5772/50478

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manaus – Amazonas, Informações Estatísticas: IBGE Cidades. 2021. IBGE: Rio de Janeiro. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama>. Acesso em: 11 nov. 2022.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/> Acesso em: 11 nov. 2022.

MANAUS (Município). Lei Complementar nº 2, de 16 de janeiro de 2014. Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus. Manaus, AM.

MARENCO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região Amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.197-207.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 195 p.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**: um projeto e seus caminhos. In *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

MOURA, M. O. **Anomalias das temperaturas extremas do ar em Fortaleza: correlações com a morbidade hospitalar por doenças cardiovasculares**. 2013. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MURARA, P. G. S. **Variabilidade climática e doenças circulatórias e respiratórias em Florianópolis (SC): uma contribuição à climatologia médica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

OLIVEIRA, E. G.; RABELLO, A. **Planejamento ambiental em bacias hidrográficas: um estudo preliminar de indicadores socioambientais na Microbacia do Quarenta (Manaus-AM)**. In: Anais do I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço. 2010. p. 4962-81.

PITTON, S. E.; DOMINGOS, A. E. Tempos e doenças: efeitos dos parâmetros climáticos nas crises hipertensivas nos moradores de Santa Gertrudes - SP. **Estudos Geográficos**. Rio Claro, v. 2, n. 1, p.75-86, 2004.

SILVA, S. N. **Análise de metais no material particulado atmosférico fino (MP2,5) na área urbana da cidade de Manaus.** 2020. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) - Programa de Pós- graduação em Clima e Ambiente (CLIAMB), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual do Amazonas, Manaus, 2020.

SISAM/INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Programa Queimadas. **Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde Ambiental.** Brasília, DF: INPE, [2022]. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal> Acesso em: 08 fev. 2023.

VALEBONA, F. P. **Caracterização do Material Particulado Fino e sua relação com dados epidemiológicos no período de 2015-2016 em Manaus, AM, Brasil.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

VIEIRA, S. **Estatística Básica.** 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

WHO. **Pneumonia – Fact Sheets.** Geneva, Suíça: World Health Organization, [2018]. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>. Acesso em: 30 ago. 2022.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0