

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Engenharias**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**  
**Mestrado em Ciências Ambientais**



**Dissertação de Mestrado**

**Níveis e razão do material particulado ( $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ ) em quatro cidades do Rio Grande do Sul com diferentes atividades econômicas predominantes**

**Jéssica El Koury Santos**

**Pelotas, 2023**

**JÉSSICA EL KOURY SANTOS**

**NÍVEIS E RAZÃO DO MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>2,5</sub> E PM<sub>10</sub>) EM  
QUATRO CIDADES DO RIO GRANDE DO SUL COM DIFERENTES  
ATIVIDADES ECONÔMICAS PREDOMINANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Orientador: Flavio Manoel Rodrigues da Silva Junior

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

S237n Santos, Jéssica El Koury

Níveis e razão do material particulado ( $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ ) em quatro cidades do Rio Grande do Sul com diferentes atividades econômicas predominantes / Jéssica El Koury Santos ; Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior, orientador. — Pelotas, 2023.

50 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Material particulado. 2. Poluentes. 3. Sazonalidade. 4. Fontes de emissão. 5. Poluição atmosférica. I. Silva Júnior, Flavio Manoel Rodrigues da, orient. II. Título.

CDD : 363.7

Elaborada por Maria Inez Figueiredo Figs Machado CRB: 10/1612

Níveis e razão do material particulado (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>) em quatro cidades do Rio Grande do Sul com diferentes atividades econômicas predominantes

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: Dia 28 de agosto de 2023

Banca examinadora

Prof. Érico Kunde Corrêa, Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof.<sup>a</sup> Marina dos Santos, Doutora em Ciências da Saúde pela Universidade Federal do Rio Grande.

Prof.<sup>a</sup> Paula Florêncio Ramires, Doutora em Ciências da Saúde pela Universidade do Rio Grande. (suplente)

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço ao Prof. Dr. Flavio Manoel Rodrigues da Silva Junior, pela orientação, incentivo, solicitude e colaboração na elaboração deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UFPEL, pelo interesse e esforços em benefício da pesquisa e do crescimento acadêmico dos alunos e da instituição.

Ao Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa e Prof.<sup>a</sup> Dra. Marina dos Santos, por aceitarem o convite à banca de qualificação e pelas proveitosas contribuições neste estudo.

Aos colegas do grupo LEFT, pelas contribuições a respeito do assunto de poluição atmosférica e também no auxílio nas apresentações de grupo.

Aos meus amigos por me incentivarem na pós-graduação.

A minha família, especialmente aos meus pais e minha irmã, pelo apoio e incentivo durante essa trajetória.

Obrigada.

## Resumo

SANTOS, Jéssica El Koury. **Níveis e razão do material particulado (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>) em quatro cidades do Rio Grande do Sul com diferentes atividades econômicas predominantes.** Orientador :Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior. 2023. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

Poluentes do ar, principalmente o Material Particulado (PM), vêm sendo pesquisado ativamente nas últimas décadas por estarem relacionados a algumas doenças cardiorrespiratórias bem como outras patologias, tais como doenças cerebrovasculares, Alzheimer, doença de Parkinson, autismo e também diabetes. O PM é influenciado por variações espaço-temporais, como condições climáticas, intensidade de tráfego, população, uso do solo e distância das estradas e são classificados por sua dimensão em PM<sub>10</sub> (partículas menores que 10 µm) e PM<sub>2,5</sub> (partículas menores que 2.5 µm). A razão entre as partículas de diferentes tamanhos pode indicar fontes de contribuição da poluição bem como ser influenciada por sazonalidade e condições meteorológicas. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi analisar os níveis e a razão entre PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> em quatro municípios da metade sul do Rio Grande do Sul considerando como fatores de influência sua atividade econômica predominante, sazonalidade e variáveis meteorológicas. As áreas de estudos foram as cidades de Candiota, Herval, Pelotas e Rio Grande. Foram realizados teste Tukey p<5%, regressão linear múltipla, anova de duas vias e uma análise de componentes principais (PCA). Como resultados, entre os anos investigados, em todos os municípios estudados o ano 1 teve uma razão PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> significativamente superior ao ano 2, sendo a maior razão em Candiota, seguido de Herval, Pelotas e Rio Grande enquanto o inverno demonstrou ser a estação do ano com maior razão PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> para os dois anos investigados. Quanto às variáveis meteorológicas mais correlacionadas positivamente com essas cidades foram umidade relativa do ar, temperatura e pluviosidade, ou seja, quanto maior forem essas variáveis, maior é a razão PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub>. As variáveis com efeito inverso foram índice UV, pressão atmosférica e velocidade do vento, portanto quanto maior forem essas variantes, menor vai ser a razão PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub>. Por fim, pode-se concluir que a atividade econômica e as variáveis meteorológicas influenciam diretamente a dinâmica dos poluentes nas cidades estudadas.

Palavras-Chave: Material particulado. Poluentes. Sazonalidade. Fontes de emissão. Poluição atmosférica

## Abstract

SANTOS, Jéssica El Koury. **Levels and ratio of particulate matter (PM2.5 and PM10) in four cities in Rio Grande do Sul with different predominant economic activities.** Advisor: Flavio Manoel Rodrigues da Silva Júnior. 2023. 50 f. Dissertation (Master in Environmental Sciences) – Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Air pollutants, primarily particulate matter (PM), have been actively researched in recent decades because they are related to some cardiorespiratory diseases as well as other pathologies, such as cerebrovascular diseases, Alzheimer's, Parkinson's disease, autism and also diabetes. PM is influenced by space-time variations such as weather conditions, traffic intensity, population, land use and distance from roads and are classified by their size into PM10 (particles smaller than 10  $\mu\text{m}$ ) and PM2.5 (particles smaller than 2.5  $\mu\text{m}$ ). The ratio between particles of different sizes can indicate sources of moisture contribution as well as being influenced by seasonality and adverse conditions. In view of this, the objective of the present study was to analyze the levels and the ratio between PM2.5 and PM10 in four municipalities in the southern half of Rio Grande do Sul, considering as factors of influence their economic activity predominantly, seasonality and moderate variations. The study areas were the cities of Candiota, Herval, Pelotas and Rio Grande. Tukey  $p < 5\%$  tests, multiple linear regression, two-way anova, and a principal component analysis (PCA) were performed. As a result, among the investigated years, in all trained municipalities, year 1 had a PM2.5/PM10 ratio significantly higher than year 2, with the highest ratio being in Candiota, followed by Herval, Pelotas and Rio Grande, while declared winter was the season with the highest PM2.5/PM10 ratio for the two years investigated. As for these variables most certainly correlated with cities, they were relative humidity, temperature and rainfall, that is, the greater these variables are, the greater the PM2.5/PM10 ratio. The variables with an inverse effect were the UV index, atmospheric pressure and wind speed, therefore, the greater these variants, the lower the PM2.5/PM10 ratio. Finally, it can be concluded that economic activity and the variables directly influence the dynamics sources in science cities.

Keywords: Particulate matter. Polluting. Seasonality. Emission sources.  
Atmospheric pollution

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>12</b>
	2.1 Objetivo geral.....	12
	2.2 Objetivos específicos.....	12
<b>3</b>	<b>Referencial teórico</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Material Particulado (PM), é um poluente do ar que tem sido pesquisado ativamente nas últimas décadas devido à associação da poluição atmosférica com algumas doenças cardiorrespiratórias (BELL et al. 2004; BASAHI et al. 2017). Recentemente, inúmeros estudos têm mostrado o envolvimento deste poluente com outras patologias, tais como doenças cerebrovasculares (GAVIOLI, 2021), Alzheimer (KILIAN; KITAZAWA, 2020), doença de Parkinson (SILVA, 2022), autismo (BIGOLIN, 2020) e também diabetes mellitus tipo 2 (HERNANDEZ, 2023). O PM é classificado de acordo com seu diâmetro aerodinâmico, sendo tradicionalmente classificado em partículas grossas e partículas finas. As partículas grossas possuem diâmetro aerodinâmico inferior a  $10\mu\text{m}$  e são conhecidas como  $\text{PM}_{10}$ . Já as partículas finas são aquelas que têm um diâmetro aerodinâmico inferior a  $2,5\mu\text{m}$ , chamadas  $\text{PM}_{2,5}$  (BASAHI et al. 2017), sendo este, capaz de penetrar nas partes mais profundas dos pulmões (CHU et al., 2014) e associada ao aumento das internações hospitalares, aumento das visitas à emergência, à falta no trabalho/escola, ao aumento dos sintomas respiratórios e à diminuição da função pulmonar (DOMINICI 2014; LANGRISH et al. 2012; LEITTE et al. 2011). Além disso, o  $\text{PM}_{2,5}$  está associado ao desenvolvimento de asma, bronquite e sintomas respiratórios agudos e crônicos. Crianças e idosos são o público mais suscetível aos riscos à saúde do  $\text{PM}_{2,5}$ , pois apresentam o sistema imunológico e respiratório em desenvolvimento ou comprometidos, respectivamente (KIM et al. 2015; KHALIL et al. 2016).

O PM no ar é geralmente calculado como a soma total de todas as partículas sólidas e líquidas suspensas no ar. Esse PM é considerado uma mistura complexa de partículas orgânicas e inorgânicas provenientes de fumaça, poeira, fuligem ou gotículas de líquido (ABUELGASIM; FARAHAT, 2020). De acordo com Merbitz et al. (2012), o PM é influenciado por variações espaço-temporais, como condições climáticas, intensidade de tráfego, população, uso do solo e distância das estradas. A formação de tais poluentes depende das fontes de seus precursores, sejam estas fontes naturais ou antropogênicas

(MAZZEI et al. 2008; LOPEZ et al. 2011; ALOBAIDI et al. 2017; OMARI et al. 2019).

Os desafios de atender aos padrões de qualidade do ar em qualquer região são impactados pela identificação das fontes e o transporte desses poluentes. Uma proporção mais alta da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  indica uma grande contribuição de partículas antropogênicas mais finas, ao passo que uma proporção mais baixa representa uma contribuição significativa de partículas naturais transportadas pelo ar através de processos naturais (XU et al. 2017). Portanto, a razão  $PM_{2,5} / PM_{10}$  pode fornecer informações úteis sobre os processos locais de poeira atmosférica e os tipos de poluição por PM em uma determinada região (KHODEIR et al. 2012; MUNIR 2017; SUGIMOTO et al. 2016; XU et al. 2017). A maior parte dos estudos da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  engloba cenários de cidades/regiões industrializadas ou com alta densidade populacional, sobretudo em países com amplo sistema de monitoramento da qualidade do ar, como por exemplo Abu Dhabi. Mesmo assim, os dados para outras regiões do mundo, como China e Espanha são imprecisos e extrapolados sem considerar diferenças locais, regionais e sazonais (OMARI et al, 2019).

No Brasil, a maior parte dos poluentes atmosféricos provém da queima de combustíveis fósseis de automóveis, também de processos industriais, bem como a mineração, a construção civil e as práticas agrícolas inadequadas associadas às atividades de queimadas (SOUZA et al, 2010). Cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife e Porto Alegre são metrópoles, portanto possuem altos níveis de atividade humana, sendo então periodicamente monitoradas por estações de qualidade do ar (ANDRADE et al, 2012).

No Rio Grande do Sul, observa-se um elevado número de poluentes atmosféricos relacionados ao tamanho populacional de cada cidade e também a diferentes fontes de emissões, como por exemplo, indústrias de fertilizantes, petrolíferas, atividades mineradoras, agronegócios e fluxo veicular (ULGUIM et al, 2021). A predominância de atividade econômica de um determinado município já provou ser importante para determinar padrões e comportamentos relacionados aos poluentes do ar (DE VASCONCELLOS et al, 2022). Fatores como emissões de indústrias, mineração, queima de combustíveis fósseis, entre outros, contribuem para a formação de poluentes no ar. Estima-se que a variabilidade espaço-temporal de tais poluentes varie consideravelmente,

dependendo dos processos de formação dos poluentes e das condições meteorológicas locais, como velocidade do vento, direção do vento e temperatura (ALMAZROUI et al., 2017).

Tendo em vista todos os problemas ambientais e sanitários causados pelo PM, o propósito do trabalho é contribuir com informações a respeito da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  em quatro cidades do Rio Grande do Sul, cujas atividades econômicas são baseadas em indústrias de fertilizantes e portuária (Rio Grande), comércio e serviços (Pelotas), atividade mineradora e termoelétrica (Candiota) e agronegócios (Herval) e avaliar se o tamanho da partícula está associado ao desenvolvimento econômico de cada cidade. Além disso, foi verificado se a sazonalidade e as variáveis meteorológicas interferem na concentração do PM.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar os níveis e a razão entre  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  em quatro municípios da metade sul do Rio Grande do Sul considerando como fatores de influência sua atividade econômica predominante, sazonalidade e variáveis meteorológicas.

### **2.2 Específicos**

Determinar os níveis e a razão entre  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  nas cidades estudadas, durante o período de dois anos.

Associar os resultados da razão entre  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  com as variáveis meteorológicas: temperatura, pluviosidade, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e índice ultravioleta.

Analisar padrões sazonais no comportamento da razão entre  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ .

Verificar se a atividade econômica influencia a dinâmica dos poluentes nos municípios estudados.

### 3.REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Yang et al. (2018) a crescente urbanização e o rápido desenvolvimento econômico são em parte responsáveis pelo aumento das emissões de material particulado (PM). A concentração destes poluentes no ar é um dos parâmetros importantes na compreensão da gravidade da poluição atmosférica e os potenciais riscos ao ambiente e aos seres humanos (SPANDANA et al., 2021).

Os poluentes do ar podem prejudicar os recursos ecológicos, incluindo a qualidade da água, solos, plantas e animais. Além disso, os poluentes atmosféricos também são considerados causadores de mudanças climáticas, sendo os mais nocivos em termos de danos aos ecossistemas o O<sub>3</sub> (Ozônio), amônia (NH<sub>3</sub>) e NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio) (EEA, 2015).

Ainda, a poluição do ar pode agravar vários problemas de saúde, como reações alérgicas, disfunção pulmonar, doenças cardiovasculares, câncer, entre outras (IARC, 2013; SCHRAUFNAGEL et al., 2019).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2020), estima-se que 91% da população mundial vive em locais com ar poluído e cerca de 4,2 milhões de pessoas morrem ao ano em todo o mundo por causa da exposição à poluição atmosférica. Além dos problemas de saúde anteriormente mencionados, associa-se também a poluição atmosférica aos transtornos mentais (KHAN et al., 2019) e a redução de capacidade intelectual (KILIAN e KITAZAWA, 2018). Os danos à saúde humana são mais intensos em países em desenvolvimento devido à rápida urbanização, acelerado desenvolvimento industrial e uso ativo de recursos minerais e combustíveis fósseis (MANNUCCI e FRANCHINI, 2017).

Spandana et al. (2021) afirmam que a queima de combustíveis fósseis, emissões veiculares, atividades industriais, conversão de gás em partículas, fontes majoritariamente provenientes de atividades antrópicas, levam à emissão/formação de PM<sub>2,5</sub>, partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5µm (partículas finas). Já as PM<sub>10</sub>, partículas com diâmetro aerodinâmico

inferior a 10 $\mu$ m (partículas grossas), consistem principalmente em PM de emissões fugitivas, erosão eólica, poeira do deserto e emissões de atividades como mineração, pedreiras e agricultura (YANG et al. 2018).

O PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> são monitorados rotineiramente como parte de medidas regulatórias por agências de proteção ambiental em todo o mundo. No Brasil, em 2018, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) disponibilizou um novo dispositivo legal sobre qualidade do ar. De acordo com essa nova disposição, devem ser monitorados pelas estações: o ozônio (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), partículas inaláveis (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>) e monóxido de carbono (CO). Em setembro de 2021, a OMS publicou as novas diretrizes globais da qualidade do ar mostrando indícios dos agravos à saúde humana, devido à poluição do ar, e passou a sugerir novos valores-guias da qualidade do ar para preservar a saúde da população. Os novos valores para concentrações de PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>, respectivamente, em medidas de 24 horas tiveram diminuição de 25  $\mu$ g.m<sup>-3</sup> para 15  $\mu$ g.m<sup>-3</sup> e 50  $\mu$ g.m<sup>-3</sup> para 45  $\mu$ g.m<sup>-3</sup> enquanto a média anual não deve ultrapassar 5  $\mu$ g.m<sup>-3</sup> e 15  $\mu$ g.m<sup>-3</sup> (OMS, 2021).

De acordo com Fajersztajn et al. (2017) na América Latina, os estudos sobre a poluição do ar são limitados a algumas cidades, como por exemplo grandes centros urbanos. Estudos epidemiológicos ressaltam que a exposição a poluentes gasosos e material particulado está associada a uma alta incidência de sintomas das vias aéreas inferiores, como tosse, falta de ar e sibilância, especialmente em crianças (ARBEX et al., 2012). César et al (2016), mostraram correlação positiva entre a exposição ao PM<sub>2,5</sub> e as internações por pneumonia e asma em crianças residentes da cidade de Taubaté (SP). Já Fajerstajn et al., (2017), observaram que o simples ato de respirar na região metropolitana de São Paulo se assemelha ao ato de fumar, em média, quatro cigarros por dia. A pesquisa de Rodrigues et al (2017), realizada nos municípios de Cuiabá e Várzea Grande no Mato Grosso, concluiu que a baixa umidade relativa do ar e a estação seca podem aumentar tanto as internações quanto os óbitos por doenças cardiovasculares relacionados ao PM<sub>2,5</sub>. As altas temperaturas podem sobrecarregar o sistema corpóreo de regulação da temperatura e alterar a resposta fisiológica aos agentes tóxicos, aumentando assim a vulnerabilidade individual aos efeitos do PM.

No Brasil, há 371 estações de monitoramento ativas, o que representa que apenas 6,6% de todas as cidades brasileiras possuem estação de monitoramento da qualidade do ar, porém alguns poluentes permanecem sem ser avaliados nestas estações (RÉQUIA et al., 2015). No sul do Rio Grande do Sul o número de estudos sobre poluição atmosférica é muito pequeno e limitado a níveis de concentração ou composição de partículas inaláveis (GUTIERREZ et al., 2020). Um estudo realizado por Ulguim (2021), nas cidades de Rio Grande, Pelotas, Candiota, Bagé e Herval, constatou altas concentrações dos poluentes ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e  $PM_{2,5}$ .

Outro ponto escasso na literatura é o estudo da relação entre  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ , a qual revela informações valiosas sobre as fontes de poluição do PM, incluindo elucidação de fontes naturais ou antropogênicas. De maneira geral, as fontes naturais emitem partículas de maior dimensão e, portanto, uma menor razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , enquanto fontes antropogênicas emitem partículas de menor dimensão, ou seja, como maior razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  (MUKHERJEE & AGRAWAL, 2017).

O material particulado atmosférico pode apresentar inúmeras substâncias químicas, como ácidos, nitratos, sulfatos, compostos orgânicos, silicatos e óxidos metálicos em sua composição (COELHO e SALDIVA, 2011). As principais fontes de emissões antrópicas são a atividade veicular incluindo as emissões de escapamento veicular, que contribuem para a formação de material particulado fino, e emissões devido ao uso e desgaste de peças dos veículos, como freio, pneus e embreagem, e ressuspensão de poeira do solo, que contribuem para a parcela de particulado grosso (PANT et al., 2013). Portanto, o crescimento populacional demasiado bem como a atividade econômica predominante de cada município pode contribuir para um aumento da poluição atmosférica (RESENDE, 2007).

Alguns estudos relataram forte variabilidade temporal na relação  $PM_{2,5}/PM_{10}$  e associação com parâmetros meteorológicos como temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar (AKINLADE et al., 2015; SPERANZA et al., 2016). A direção e a velocidade dos ventos, por exemplo, favorecem o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos. Já, nas situações de quietude, ocorre o “estacionamento” do ar, gerando aumento nas concentrações de PM de maior dimensão (SANTOS et al., 2018).

O comportamento de um contaminante permite avaliar a sua existência e prever a sua distribuição ou dispersão final no ambiente natural em que se encontra, e assim avaliar os seus efeitos, o seu impacto nas comunidades ou ecossistemas presentes na área. A dispersão refere-se ao transporte de poluentes pela atmosfera e é determinada por diversos fatores, como variabilidade climática, características topográficas do local de interesse e até mesmo pelo vento (Perdiz, 2016). Vento refere-se ao movimento massivo de ar, horizontalmente, que ocorre devido a mudanças na pressão atmosférica. A velocidade do vento afeta a concentração de poluentes em uma determinada área. Portanto, quanto maior a velocidade do vento, menor a concentração de poluentes, uma vez que é responsável pela sua rápida dispersão na área de interesse, fica evidente a relação inversa entre essas variáveis (CUBI PILCO, 2022).

Já temperaturas mais elevadas e o aumento da precipitação promovem a ocorrência de reações fotoquímicas e, assim, facilitam a formação de partículas secundárias (ZHAI, 2022). Enquanto o efeito da umidade relativa sobre o tamanho do material particulado atmosférico é documentado como as partículas que deliquescem para formar gotículas em ambientes com umidade relativa elevada influenciando a sua distribuição por tamanho (SACKS, 2011).

De acordo com Abuelgasim, A. & Farahat, A. (2020), as áreas industriais de Abu Dhabi apresentaram os maiores níveis de  $PM_{2,5}$  seguido das áreas urbanas, no período do inverno. Além disso, foi relatado que a velocidade do vento interferiu significativamente na visibilidade devido às tempestades de poeiras. No entanto, o período que representa o verão (meses de junho a agosto) apresentou altos níveis de PM, relacionado provavelmente ao aumento consistente da temperatura nesta área durante este período e está associado a poeiras e tempestades de areia esporádicas, bem como, ao uso excessivo de arrefecimento doméstico, que constitui uma fonte extra significativa de PM.

No trabalho de Rodriguez (2004), realizado no leste da Espanha, os maiores níveis de poluição local-urbana ocorrem principalmente no outono-inverno, quando o PM derivado dos escapamentos dos veículos é o principal contribuinte para os níveis de  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ . Já nas áreas rurais o  $PM_{10}$  potencializa no verão devido à alta frequência de eventos regionais de poluição, quando o PM derivado da geração de energia é o principal contribuinte. O

trabalho de Li et al (2021) em Pequim, também descreveu que a maior razão de  $PM_{2,5}$  sobre o  $PM_{10}$  ocorreu nos meses de inverno, também foi constatado que a velocidade do vento, umidade do ar e temperatura interferem diretamente na razão do PM. Já na África, durante as tempestades de poeira africana, que ocorrem em todo o ano, o pó mineral é o principal contribuinte do  $PM_{10}$ .

A razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  é extremamente variável em termos espaciais e sazonais, mas a OMS definiu razões estimadas na ausência de dados primários disponíveis, considerando uma razão de 0,6 para Estados Unidos e Austrália e entre 0,3 e 0,4 para Canadá e os valores para a maioria das cidades ao redor do mundo variando entre 0,4 e 0,8 (WHO, 2014). Para as nações europeias, a razão média gira em torno de 0,65 e 0,73, com exceção dos países escandinavos que possuem razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  entre 0,24 e 0,64 (ADAMS, 2007).

As informações no Brasil sobre razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  e seu envolvimento com variáveis meteorológicas, ambientais e a sazonalidade são escassas, sobretudo no Rio Grande do Sul. A maioria dos estudos brasileiros avaliam a concentração e a composição do PM relacionando com problemas de saúde. Em estudo recente, Vormittag et al (2021) relataram que o estado do Rio Grande do Sul possui apenas 13 estações de monitoramento da qualidade do ar ativas, destas 8 estão na Região Metropolitana de Porto Alegre e apenas 5 no interior do Estado. Ademais, das 13 estações em funcionamento, 11 são privadas e apenas duas públicas.

Especificamente sobre os estudos sobre a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  no Brasil, Tavella et al (2023) estudando o impacto das medidas restritivas relacionadas à COVID-19 na concentração de poluentes nos dias de semana e nos finais de semana no estado do RS concluíram que as medidas restritivas relacionadas à pandemia tiveram aumento da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  durante o final de semana, em comparação com os dias de semana, realçando uma influência da redução de atividades humanas nos dias de semana durante a pandemia de COVID-19. Nas cidades estudadas, a razão variou entre 0,60 e 0,67. Em Porto Alegre, capital do estado do RS, Braga et al (2005) encontrou uma razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  aproximadamente de 0,6.

Para a cidade de São Paulo, Castanho e Artaxo (2001) encontraram razões aproximadas de 0,60, enquanto Soluri et al (2007) reportaram razões similares na cidade do Rio de Janeiro. Conforme mencionado anteriormente, as

idades que são objeto de estudo da poluição do ar têm sido primariamente as grandes metrópoles.

A disparidade de monitoramento da qualidade do ar entre regiões foi apontada pelo último guia da OMS sobre qualidade do ar, o qual destaca duas lacunas principais para a cobertura do monitoramento global da qualidade do ar: a) a falta de monitoramento em muitos países ao redor do mundo; e b) monitoramento inadequado em áreas rurais e em áreas distantes das grandes cidades. Desta forma, reforça-se a importância de estudos de monitoramento para fornecer informações úteis sobre a concentração/razão do PM (CHU et al., 2014).

## **4.METODOLOGIA**

### **ÁREA DE ESTUDO**

O estudo foi realizado com informações de quatro municípios da metade sul do estado do RS, especificamente: Pelotas (Latitude: 31° 46' 34" Sul, Longitude: 52° 21' 34" Oeste), Rio Grande (latitude: 32°02'06" Sul, Longitude: 52°05'55" Oeste), Candiota (Latitude: 31° 28' 36" Sul, Longitude: 53° 40' 45" Oeste) e Herval (Latitude: 32° 0' 46" Sul, Longitude: 53° 24' 11" Oeste) do Rio Grande do Sul – BR (Figura1). Foi considerada a fonte predominante de poluição do ar como destacado a seguir: urbana (Pelotas), industrial (Rio Grande), mineração e queima de carvão mineral (Candiota) e rural (Herval).

A cidade de Pelotas, tem como atividade principal o comércio e serviços e possui cerca de 325.689 mil habitantes, sendo a quarta cidade mais populosa do estado. Já Rio Grande, é uma cidade portuária, com um grande enfoque em indústrias, principalmente de adubos e fertilizantes e alimentícia, sendo a segunda cidade com maior crescimento anual do Produto Interno Bruto (PIB) de acordo com o Departamento de Economia e Estatística (DEE) do Estado, possuindo 191.900 mil habitantes. Enquanto, que Candiota, possui cerca de 10.710 mil habitantes e é conhecida pela atividade de exploração de minério e queima de carvão mineral. Por fim, Herval é um município com atividade rural e

com baixo número de habitantes, cerca de 6.191 mil de acordo com o censo realizado em 2022.

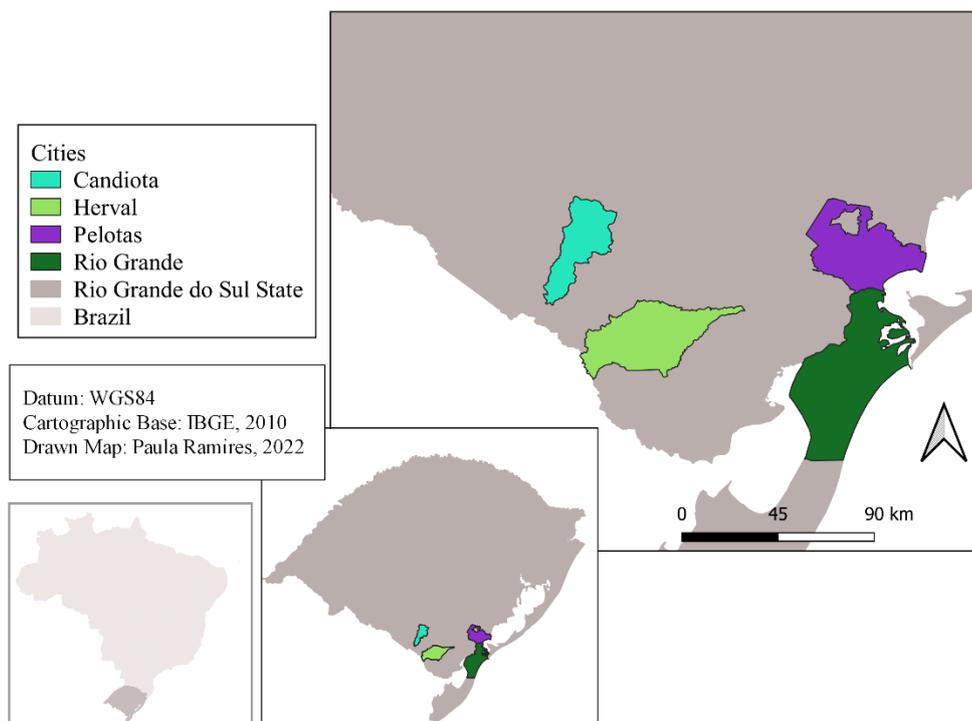


Figura 1: Mapa das cidades analisadas no estudo

## COLETA DE DADOS

Os dados dos poluentes ( $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ ) foram coletados a partir do banco de dados do Grupo de Pesquisa em Saúde Ambiental – FURG, que monitora periodicamente os níveis dos poluentes do ar na região compreendida por estes municípios. Os dados de satélite extraídos em tempo real a partir de um aplicativo de celular (The Weather Channel – IBM) diariamente e utilizam informações do European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), “Copernicus Atmospheric Monitoring Service”.

Os dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, índice UV, direção e velocidade dos ventos) foram coletados no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados de Rio Grande foram extraídos da estação automática A802, os dados de Pelotas foram extraídos da estação convencional 83985, enquanto que Candiota e Herval não possuem

estações meteorológicas e foram utilizados os dados da estação convencional da cidade de Bagé (mais próxima na região) 83980. Os dados horários foram transformados em média diária, com exceção da pluviosidade que foi utilizada a quantidade acumulada de chuva por dia.

O período de análise compreendeu-se por 2 anos, contemplando 2 ciclos sazonais completos (dezembro de 2020 a dezembro de 2022). O primeiro ano pode ser considerado um ano influenciado pelo retorno às atividades após a forte restrição imposta pela pandemia de COVID-19, enquanto o segundo ciclo anual pode ser considerado um ano de retorno à normalidade em relação as atividades humanas (TAVELLA et al 2023).

## **ANÁLISE DOS DADOS**

Os dados diários dos poluentes foram apresentados em gráficos e tabelas e a partir destes calculadas as médias ( $\pm$  desvio padrão) anuais e para cada estação do ano (de cada cidade) e estas variáveis/fatores (estação do ano e ano) comparadas usando análise de variância de duas vias seguida de teste Tukey, considerando um valor de p inferior a 5%. Ainda, uma análise de regressão linear múltipla considerando os níveis de  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  e a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  como variáveis dependentes e os parâmetros meteorológicos (temperatura, pluviosidade, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e índice ultravioleta) consideradas variáveis independentes foi realizada para identificar fatores associados à concentração de poluentes e a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ . De maneira complementar, uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada com as mesmas variáveis descritas acima e considerados os dois eixos mais significativos para representação gráfica dos achados. Todas as análises foram realizadas no software STATISTICA 10.0.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **Parâmetros meteorológicos e concentração de material particulado**

Nas tabelas a 1-6 estão reportados os dados descritivos, contendo valores de média, desvio padrão e o p valor está simbolizado por letras, indicando significância dos parâmetros meteorológicos (temperatura, pluviosidade, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e índice UV), os poluentes ( $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ ) e também a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  das cidades de Candiota, Herval, Rio Grande e Pelotas, mostrados por ano 1, ano 2 e por estações do ano.

Para o ano 1 nenhuma cidade diferiu para temperatura, pluviosidade, pressão atmosférica e índice UV. Rio Grande foi o município com maior média para velocidade do vento (20,128). Para a variável umidade relativa do ar, Rio grande apresentou maior média (74,575), seguido de Pelotas (70,433), enquanto Candiota e Herval não diferiram. Para os poluentes  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  Rio Grande apresentou maior nível (7,080 e 11,801 respectivamente) seguido de Pelotas e esta diferiu de Herval e Candiota. A razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  Candiota apresentou a maior razão (0,676), seguido de Herval (0,662), Pelotas (0,648) e Rio Grande (0,611). Rio Grande apresentou valores médios elevados para as variáveis velocidade do vento e umidade relativa do ar, podemos relacionar esses fatores pelo fato de Rio Grande por ser uma cidade litorânea, portanto apresenta mais vento e umidade relativa. Já quanto aos poluentes atmosféricos, pode-se inferir que estejam ligadas às atividades industriais, visto que o município possui empresas de fertilizantes, refinaria de petróleo e indústrias alimentícias.

Já o ano 2, a média da temperatura foi menor em Herval (17,401). Pluviosidade e velocidade do vento não diferiram estatisticamente. A umidade relativa do ar foi maior em Rio Grande (73,854), seguido de Pelotas (69,410), enquanto que Candiota e Herval apresentaram índices menores sem diferir entre si. Pressão atmosférica não apresentou diferença estatística. Para o índice UV,

Pelotas apresentou a menor média, enquanto Herval não diferiu de Candiota e nem de Rio Grande. Os poluentes  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  e a Razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  permaneceram com a mesma sequência de municípios mostrada no ano 1.

Temperatura e pluviosidade não diferiram nas estações de verão, outono, inverno e primavera. No verão, a velocidade do vento foi maior em Rio Grande (19,506). Umidade relativa do ar foi elevada em Rio Grande (70,256), seguido de Pelotas (64,216), Herval (58,701) e Candiota (56,763). A pressão não apresentou diferença estatística. O índice UV foi menor na cidade de Pelotas. Para os poluentes  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ , Rio Grande apresentou os maiores níveis (7,372 e 12,347 respectivamente) e quanto a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  foi maior em Candiota, seguido de Herval, Pelotas e Rio grande.

No outono, Rio Grande seguiu mostrando significância para velocidade do vento (19,213). Rio Grande e Pelotas apresentaram mais umidade relativa do ar do que Candiota e Herval. Já a pressão atmosférica e o índice UV não mostraram diferenças significativas. Os poluentes  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ , Rio Grande com os maiores níveis e menor razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  (0,605).

Durante o inverno, além da temperatura e pluviosidade, a velocidade do vento e a pressão atmosférica não mostraram diferenças estatísticas significativas entre si. A umidade foi maior em Rio Grande (81,535) e Pelotas (78,479), o índice UV foi menor em Pelotas. Os poluentes  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ , Rio Grande liderou seguido de Pelotas, Candiota e Herval e a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  foi maior em Candiota, seguida de Herval, Pelotas e Rio Grande.

E na primavera, a velocidade do vento foi maior em Rio Grande (21,748), para a variável umidade relativa do ar, os maiores níveis foram encontrados em Rio Grande (67,768), seguido de Pelotas (60,642), Herval (55,583) e Candiota (54,801). A pressão atmosférica não diferiu estatisticamente. O índice UV foi menor em Pelotas (6,609). O  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  maior em Rio Grande, seguido de Pelotas, Herval e Candiota com menores e iguais estatisticamente. Por fim, a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  foi maior em Candiota e Herval sem diferir entre si, seguido de Pelotas e Rio Grande com a menor razão.

Resultados semelhantes de altos níveis de poluentes foram encontrados no trabalho de ULGUIM (2021), com valores médios para o  $PM_{2,5}$  variando de  $4,35\mu\text{g}/\text{m}^3$  para Candiota,  $3,94\mu\text{g}/\text{m}^3$  para Herval, Rio Grande com  $5,41\mu\text{g}/\text{m}^3$  e Pelotas  $4,91\mu\text{g}/\text{m}^3$ , no período inicial da pandemia, superiores aos valores-guia

da OMS que são de  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2,5}$  e inferiores aos valores-guia de CONAMA (2018) de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A sazonalidade pode ser definida como fenômenos que ocorrem durante o tempo que se repetem regularmente em períodos fixos de tempo. Um trabalho realizado no Brasil, também apresentou variações sazonais, a cidade de Vitória no Espírito Santo, apresentou sazonalidade no período de 2016 a 2020 (SANTO, 2022). De acordo com o autor, esse comportamento dos poluentes é esperado, pois as principais fontes de poluição dessas regiões são veículos automotores, indústrias e queima de carvão mineral. Em metrópoles, como por exemplo Belo Horizonte/Minas Gerais, os valores foram bem extrapolados, devido a queimadas ocorridas na cidade com material particulado em torno de  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2,5}$  e  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{10}$  (BRAGA, 2020).

Tabela 1- Análise descritiva dos parâmetros meteorológicos e dos poluentes PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> referente ao ano 1 (dezembro de 2020/ dezembro de 2021)

Cidade	Temperatura (média e desvio)	Pluviosidade (Soma do ano)	Velocidade do vento (média e desvio)	Umidade relativa do ar (média e desvio)	Pressão atmosférica (média e desvio)	Índice UV (média e desvio)	PM <sub>2,5</sub> (média e desvio)	PM <sub>10</sub> (média e desvio)	Razão PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> (média e desvio)
<b>Candiota</b>	18,392 ± 5,17291	1530,5	16,241 <sup>a</sup> ± 6,73507	65,463 <sup>a</sup> ± 15,24374	1016,737 ± 5,67304	5,778 ± 3,19473	4,586 <sup>a</sup> ± 3,07817	6,776 <sup>a</sup> ± 4,44438	0,676 <sup>a</sup> ± 0,03078
<b>Herval</b>	18,286 ± 5,21880	1436,5	15,967 <sup>a</sup> ± 6,72508	66,778 <sup>a</sup> ± 14,94883	1016,900 ± 5,77841	5,620 ± 3,19592	4,030 <sup>a</sup> ± 3,23949	6,110 <sup>a</sup> ± 4,76600	0,662 <sup>b</sup> ± 0,04406
<b>Rio Grande</b>	18,617 ± 4,83603	1593,5	20,128 <sup>b</sup> ± 9,12344	74,575 <sup>b</sup> ± 11,25990	1017,158 ± 5,89178	5,644 ± 3,20623	7,080 <sup>b</sup> ± 3,80431	11,801 <sup>a</sup> ± 6,55728	0,611 <sup>c</sup> ± 0,05497
<b>Pelotas</b>	18,076 ± 4,84970	1795,7	16,972 <sup>a</sup> ± 8,59548	70,433 <sup>c</sup> ± 14,40369	1016,942 ± 5,90967	5,183 ± 3,13036	5,245 <sup>c</sup> ± 3,12120	8,197 <sup>c</sup> ± 4,87512	0,648 <sup>d</sup> ± 0,04936

Temperatura: p>0.05; Pluviosidade: p>0.05; Velocidade do vento; p<0.0001 Umidade: p<0.0001; Pressão: p>0.05; UV: p>0.05; PM<sub>2.5</sub>: p<0.0001; PM<sub>10</sub>: <0.0001 Razão PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>: p<0.0001.  
Letras diferentes indicam diferença estatística entre cidades para o determinado parâmetro

Tabela 2- Análise descritiva dos parâmetros meteorológicos e dos poluentes PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> referente ao ano 2 (dezembro de 2021/ dezembro de 2022)

Cidade	Temperatura (média e desvio)	Pluviosidade (Soma do ano)	Velocidade do vento (média e desvio)	Umidade relativa do ar (média e desvio)	Pressão atmosférica (média e desvio)	Índice UV (média e desvio)	PM <sub>2,5</sub> (média e desvio)	PM <sub>10</sub> (média e desvio)	Razão PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> (média e desvio)
<b>Candiota</b>	18,048 <sup>ab</sup> ± 5,65815	1751,5	18,975 ± 52,75794	64,218 <sup>a</sup> ± 17,67758	1013,614 ± 52,24578	5,656 <sup>a</sup> ± 3,30910	5,380 <sup>a</sup> ± 3,56489	8,092 <sup>a</sup> ± 5,16600	0,663 <sup>a</sup> ± 0,03915
<b>Herval</b>	17,401 <sup>a</sup> ± 5,67091	1626,6	15,479 ± 6,44839	64,499 <sup>a</sup> ± 17,15486	1016,580 ± 6,23914	5,477 <sup>ab</sup> ± 3,26819	5,053 <sup>a</sup> ± 3,27845	7,779 <sup>a</sup> ± 4,95053	0,653 <sup>a</sup> ± 0,04656
<b>Rio Grande</b>	18,257 <sup>ab</sup> ± 5,04647	1763,3	19,466 ± 8,17663	73,854 <sup>b</sup> ± 12,77485	1016,829 ± 6,21746	5,518 <sup>a</sup> ± 3,22911	7,710 <sup>b</sup> ± 4,19277	12,983 <sup>b</sup> ± 7,17407	0,603 <sup>b</sup> ± 0,06116
<b>Pelotas</b>	18,437 <sup>b</sup> ± 4,97	1716,0	15,482 ± 8,2074	69,410 <sup>c</sup> ± 16,7882	1041,331 ± 471,8170	4,857 <sup>b</sup> ± 3,2111	6,147 <sup>c</sup> ± 3,9933	9,753 <sup>c</sup> ± 6,1297	0,637 <sup>c</sup> ± 0,0525

Temperatura: p=0.05; Pluviosidade: p>0.05; Velocidade do vento; p>0.05 Umidade: p<0.0001; Pressão: p>0.05; UV: p>0.05; PM<sub>2.5</sub>: p<0.0001; PM<sub>10</sub>: <0.0001 Razão PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>: p<0.0001.

Letras diferentes indicam diferença estatística entre cidades para o determinado parâmetro

Tabela 3- Análise descritiva dos parâmetros meteorológicos e dos poluentes PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> referente à estação verão do ano 1 e ano 2 juntos (dezembro de 2020/ dezembro de 2022)

Cidade	Temperatura (média e desvio)	Pluviosidade (Soma do ano)	Velocidade do vento (média e desvio)	Umidade relativa do ar (média e desvio)	Pressão atmosférica (média e desvio)	Índice UV (média e desvio)	PM <sub>2,5</sub> (média e desvio)	PM <sub>10</sub> (média e desvio)	Razão PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> (média e desvio)
<b>Candiota</b>	23,903 ± 3,06611	853,7	15,379 <sup>a</sup> ± 5,80441	56,763 <sup>a</sup> ± 13,83384	1012,599 ± 3,62168	8,955 <sup>a</sup> ± 1,88842	5,216 <sup>ab</sup> ± 3,50705	7,805 <sup>ab</sup> ± 5,06799	0,667 <sup>a</sup> ± 0,03144
<b>Herval</b>	23,819 ± 2,85752	869,6	15,169 <sup>a</sup> ± 5,84794	58,701 <sup>a</sup> ± 12,91122	1012,842 ± 3,84026	8,819 <sup>a</sup> ± 1,95723	4,733 <sup>a</sup> ± 3,34942	7,244 <sup>a</sup> ± 4,98251	0,654 <sup>b</sup> ± 0,03949
<b>Rio Grande</b>	23,925 ± 2,46091	818,3	19,506 <sup>b</sup> ± 7,63001	70,256 <sup>b</sup> ± 9,09301	1013,199 ± 4,01144	8,807 <sup>a</sup> ± 1,93823	7,372 <sup>c</sup> ± 4,49126	12,347 <sup>c</sup> ± 7,27334	0,604 <sup>c</sup> ± 0,05179
<b>Pelotas</b>	23,500 ± 2,68675	1043,1	16,489 <sup>a</sup> ± 7,88633	64,216 <sup>c</sup> ± 10,76019	1012,886 ± 3,97113	8,182 <sup>b</sup> ± 2,27556	5,796 <sup>b</sup> ± 4,51782	9,152 <sup>b</sup> ± 6,70645	0,636 <sup>d</sup> ± 0,04820

Temperatura: p>0.05; Pluviosidade: p>0.05; Velocidade do vento; p<0.0001 Umidade: p<0.0001; Pressão: p>0.05; UV: p=0.001; PM<sub>2.5</sub>: p<0.0001; PM<sub>10</sub>: <0.0001 Razão PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>: p<0.0001.

Letras diferentes indicam diferença estatística entre cidades para o determinado parâmetro

Tabela 4- Análise descritiva dos parâmetros meteorológicos referente e dos poluentes PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> à estação outono do ano 1 e ano 2 juntos (dezembro de 2020/ dezembro de 2022)

Cidade	Temperatura (média e desvio)	Pluviosidade (Soma do ano)	Velocidade do vento (média e desvio)	Umidade relativa do ar (média e desvio)	Pressão atmosférica (média e desvio)	Índice UV (média e desvio)	PM <sub>2,5</sub> (média e desvio)	PM <sub>10</sub> (média e desvio)	Razão PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> (média e desvio)
<b>Candiota</b>	16,143 ± 4,55012	828,2	15,612 <sup>a</sup> ± 6,82088	70,164 <sup>a</sup> ± 13,08113	1018,322 ± 4,77515	3,683 ± 1,80295	4,440 <sup>a</sup> ± 2,59537	6,707 <sup>a</sup> ± 3,89960	0,665 <sup>a</sup> ± 0,04095
<b>Herval</b>	15,705 ± 4,53284	715,9	15,333 <sup>a</sup> ± 6,89906	69,825 <sup>a</sup> ± 12,69213	1018,251 ± 4,98373	3,552 ± 1,71813	4,206 <sup>a</sup> ± 2,75563	6,539 <sup>a</sup> ± 4,37039	0,650 <sup>b</sup> ± 0,05216
<b>Rio Grande</b>	16,810 ± 4,17593	647,1	19,213 <sup>b</sup> ± 9,15276	74,814 <sup>b</sup> ± 10,90259	1018,235 ± 5,07249	3,617 ± 1,75603	6,480 <sup>b</sup> ± 3,49619	10,960 <sup>b</sup> ± 6,20601	0,605 <sup>c</sup> ± 0,05864
<b>Pelotas</b>	16,385 ± 4,13990	706,6	14,847 <sup>a</sup> ± 8,17720	73,098 <sup>ab</sup> ± 13,72457	1018,158 ± 5,08089	3,470 ± 1,90659	5,307 <sup>c</sup> ± 3,21583	8,434 <sup>c</sup> ± 5,14383	0,639 <sup>b</sup> ± 0,05442

Temperatura: p>0.05; Pluviosidade: p>0.05; Velocidade do vento; p<0.0001 Umidade: p=0.0002; Pressão: p>0.05; UV: p>0.05; PM<sub>2.5</sub>: p<0.0001; PM<sub>10</sub>: <0.0001 Razão PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>: p<0.0001.

Letras diferentes indicam diferença estatística entre cidades para o determinado parâmetro

Tabela 5- Análise descritiva dos parâmetros meteorológicos e dos poluentes PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> referente à estação inverno do ano 1 e ano 2 juntos (dezembro de 2020/ dezembro de 2022)

Cidade	Temperatura (média e desvio)	Pluviosidade (Soma do ano)	Velocidade do vento (média e desvio)	Umidade relativa do ar (média e desvio)	Pressão atmosférica (média e desvio)	Índice UV (média e desvio)	PM <sub>2,5</sub> (média e desvio)	PM <sub>10</sub> (média e desvio)	Razão PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> (média e desvio)
<b>Candiota</b>	14,328 ± 3,99138	1250,5	21,376 ± 68,66029	74,089 <sup>a</sup> ± 14,39689	1019,465 ± 6,37023	3,056 <sup>a</sup> ± 1,61556	5,637 <sup>a</sup> ± 4,32888	8,269 <sup>a</sup> ± 6,20294	0,679 <sup>a</sup> ± 0,03273
<b>Herval</b>	13,738 ± 3,69506	1226,8	15,516 ± 6,82918	74,925 <sup>a</sup> ± 14,80579	1019,655 ± 6,42523	2,915 <sup>a</sup> ± 1,56386	4,964 <sup>a</sup> ± 4,26047	7,418 <sup>a</sup> ± 6,16340	0,669 <sup>a</sup> ± 0,04198
<b>Rio Grande</b>	14,286 ± 3,15107	1598,3	19,150 ± 9,16906	81,535 <sup>b</sup> ± 11,44325	1019,865 ± 6,46407	2,967 <sup>a</sup> ± 1,66367	7,918 <sup>b</sup> ± 4,27167	12,929 <sup>b</sup> ± 7,11701	0,621 <sup>b</sup> ± 0,05160
<b>Pelotas</b>	14,314 ± 3,32152	1402,7	15,315 ± 8,42893	78,479 <sup>b</sup> ± 15,28551	1019,613 ± 6,53073	2,610 <sup>b</sup> ± 1,53675	6,186 <sup>a</sup> ± 3,69662	9,480 <sup>a</sup> ± 5,58082	0,657 <sup>c</sup> ± 0,04785

Temperatura: p>0.05; Pluviosidade: p>0.05; Velocidade do vento; p>0.05 Umidade: p<0.0001; Pressão: p>0.05; UV: p=0.02; PM<sub>2.5</sub>: p<0.0001; PM<sub>10</sub>: <0.0001 Razão PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>: p<0.0001.

Letras diferentes indicam diferença estatística entre cidades para o determinado parâmetro

Tabela 6- Análise descritiva dos parâmetros meteorológicos e dos poluentes PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> referente à estação primavera do ano 1 e ano 2 juntos (dezembro de 2020/ dezembro de 2022)

Cidade	Temperatura (média e desvio)	Pluviosidade (Soma do ano)	Velocidade do vento (média e desvio)	Umidade relativa do ar (média e desvio)	Pressão atmosférica (média e desvio)	Índice UV (média e desvio)	PM <sub>2,5</sub> (média e desvio)	PM <sub>10</sub> (média e desvio)	Razão PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> (média e desvio)
<b>Candiota</b>	19,620 ± 4,00680	349,6	17,344 <sup>a</sup> ± 6,74097	54,801 <sup>a</sup> ± 15,94115	1008,309 ± 80,51447	8,139 <sup>a</sup> ± 2,39733	4,449 <sup>a</sup> ± 1,94009	6,711 <sup>a</sup> ± 2,93411	0,666 <sup>a</sup> ± 0,03582
<b>Herval</b>	19,278 ± 4,04552	250,8	17,132 <sup>a</sup> ± 6,54082	55,583 <sup>a</sup> ± 15,79593	1015,365 ± 5,80766	7,848 <sup>a</sup> ± 2,47588	4,135 <sup>a</sup> ± 1,93865	6,425 <sup>a</sup> ± 3,18302	0,655 <sup>a</sup> ± 0,04558
<b>Rio Grande</b>	19,881 ± 3,17416	293,1	21,748 <sup>b</sup> ± 8,23182	67,768 <sup>b</sup> ± 11,63583	1015,860 ± 5,97317	7,887 <sup>a</sup> ± 2,40428	7,800 <sup>b</sup> ± 3,43130	13,435 <sup>b</sup> ± 6,68966	0,592 <sup>b</sup> ± 0,06888
<b>Pelotas</b>	19,993 ± 3,0902	359,3	18,868 <sup>a</sup> ± 8,7952	60,642 <sup>c</sup> ± 15,5873	1075,056 ± 731,5854	6,609 <sup>b</sup> ± 3,0375	5,366 <sup>c</sup> ± 2,5415	8,728 <sup>c</sup> ± 4,5897	0,633 <sup>c</sup> ± 0,0511

Temperatura: p>0.05; Pluviosidade: p>0.05; Velocidade do vento; p<0.0001 Umidade: p<0.0001; Pressão: p>0.05; UV: p=<0.001; PM<sub>2.5</sub>: p<0.0001; PM<sub>10</sub>: <0.0001 Razão PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>: p<0.0001.

Letras diferentes indicam diferença estatística entre cidades para o determinado parâmetro

### Razão PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> nos municípios estudados

Os resultados referentes à razão PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> dos municípios estudados estão apresentados na figura 2, reportados para cada um dos dois anos investigados e para cada estação do ano. Os resultados da Anova de duas vias (Tabela 7) mostraram que houve interação entre os fatores (ano x estação do ano) apenas para o município de Pelotas, com p valor de 0,04. Por outro lado, a

análise de cada fator em separado mostrou diferença estatística entre os anos investigados e entre as estações do ano em todos os municípios (Figura 2). Na comparação entre os anos investigados, em todos os municípios estudados o ano 1 teve uma razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  significativamente superior ao ano 2. Os valores médios da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  para o ano 1 e ano 2 respectivamente para Candiota foram 0,67 e 0,66, Herval 0,66 e 0,65, Rio Grande com 0,61 e 0,60 e Pelotas 0,64 e 0,63. O inverno demonstrou ser a estação do ano com maior razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  para os dois anos investigados considerando os municípios de Candiota (0,67), Herval (0,66) e Rio Grande (0,62). Por outro lado, em Pelotas, o inverno foi a estação do ano com a maior razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  apenas no ano 1 (0,68).

A diferença observada entre os dois anos estudados para todas as cidades pode ser influenciada pela pandemia de COVID-19. Embora o ano de 2020 tenha sido o ano reportado como de fortes restrições de mobilidade urbana que culminou em mudanças drásticas na concentração de poluentes (Santo, 2022), parece ter havido um lapso temporal até o completo retorno à normalidade do comportamento dos poluentes do ar. Tavella & Da Silva Júnior (2023) estudando 3 municípios na mesma região do presente estudo (Rio Grande, Pelotas e Bagé) corroboram essa ideia ao reportar que o ano de 2021 foi um ano intermediário para a retomada do comportamento padrão dos poluentes do ar, ao passo que a dinâmica dos poluentes em 2022 parece ter atingido um novo normal. Neste sentido, o aumento da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  observado em todos os municípios estudados pode ser uma consequência de um “efeito rebote” da retomada das atividades humanas após um intenso bloqueio das atividades econômicas. O estudo de Shukla et al (2022) reforça esta hipótese onde exibem um aumento da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  no ano de 2021 quando comparado à 2020.

Um estudo realizado por Fatima (2022) em Delhi, na Índia relatou que temperaturas mais baixas desempenham um papel importante no acúmulo de poluição devido à camada limite (inversão térmica) ser mais baixa durante os invernos, enquanto a umidade relativa mais alta do ar durante os invernos leva à formação secundária de partículas de aerossol, aumentando as concentrações de PM. Zhai (2022) constatou que a temperatura da superfície é geralmente baixa à noite e a inversão térmica ocorre quando a temperatura da superfície é inferior à temperatura do ar. Lotrecchiano (2021), mostrou claramente em seu

trabalho a natureza sazonal da poluição na cidade de Milão, sendo esta, maior no inverno também e associou às altas emissões do aquecimento doméstico. Ainda, Zhai (2022), concluiu que razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  também apresenta uma evidente regularidade sazonal em três regiões da China, com os valores médios (em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) nas quatro estações atingindo 0,63 (inverno), 0,44 (primavera), 0,55 (verão) e 0,54 (outono). A proporção  $PM_{2,5}/PM_{10}$  é mais alta no inverno, mais baixa na primavera e moderada no verão e no outono. Isso se deve principalmente ao ar seco e à escassa precipitação na primavera, que resulta em uma superfície mais seca e não consolidada. Além disso, a cobertura vegetal é relativamente mais baixa, e a velocidade média do vento é mais alta e atribuída a ventos mais fortes. Essas condições, em conjunto, promovem a fácil entrada de poeira superficial na atmosfera. As estações mais frias foram também reportadas como a época sazonal com maior razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  em um estudo conduzido em sete países (Bósnia e Herzegovina, Espanha, França, Croácia, Itália, Portugal e Turquia) que revelou variação na razão entre  $0,36 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  e  $0,69 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (GÓMEZ-LOSADA & PIRES 2021).

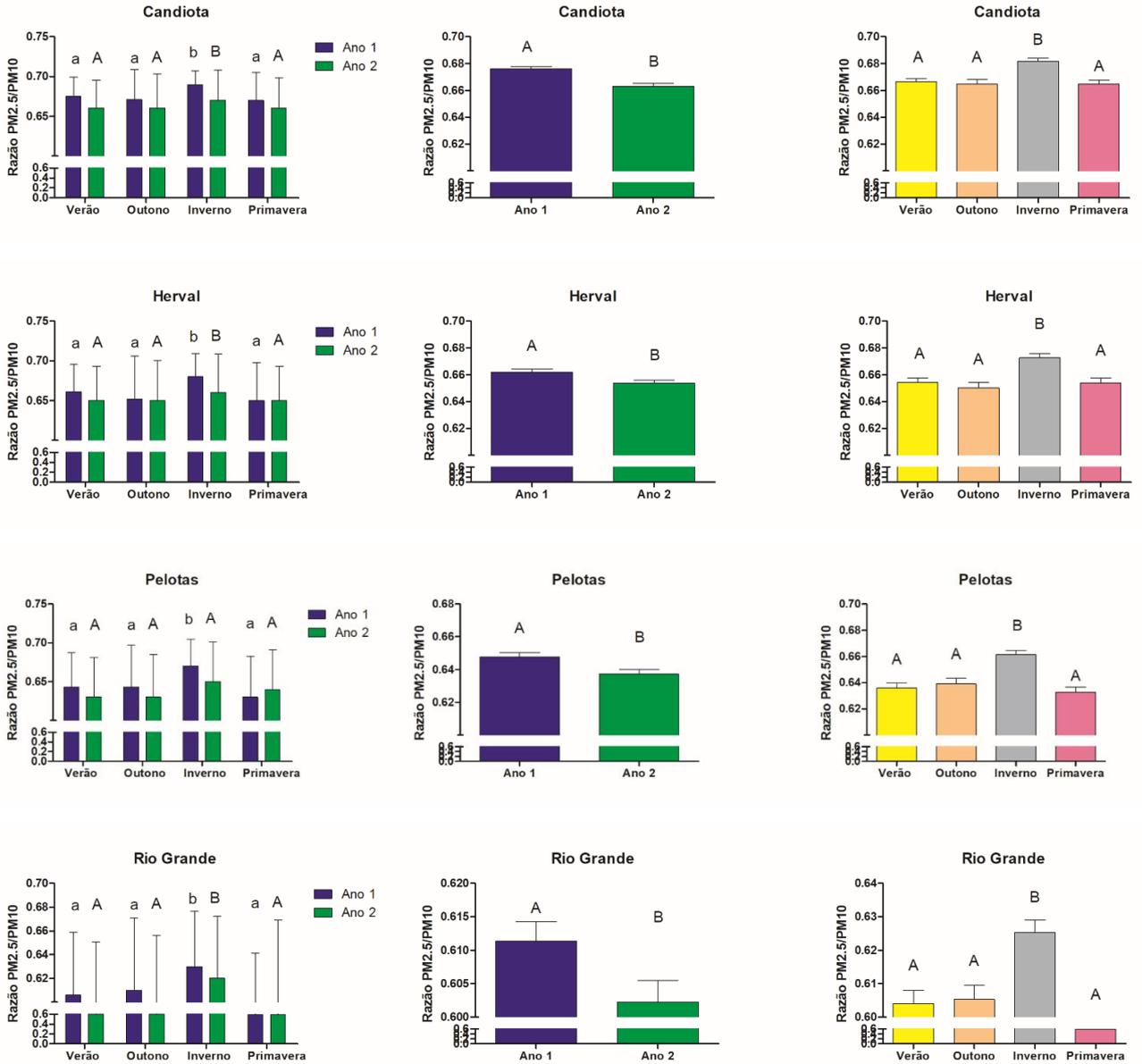


Figura 2: Razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  nos municípios estudados. A primeira coluna se refere à razão em relação às estações do ano 1 e ano 2 separadamente, já a segunda coluna é referente à razão quanto ao ano 1 e ano 2 e a terceira coluna refere-se à razão com relação às estações dos anos juntos.

Tabela 7. Resultados da ANOVA de duas vias.

	Candiota		Herval		Pelotas		Rio Grande	
	F	p	F	p	F	p	F	p
<b>Intercepto</b>	271284,6	<b>&lt;0,0001</b>	157825,3	<b>&lt;0,0001</b>	121038,8	<b>&lt;0,0001</b>	81638,43	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Ano</b>	24,8	<b>&lt;0,0001</b>	6,5	<b>0,01</b>	7,9	<b>0,005</b>	4,01	<b>0,04</b>
<b>Estação do Ano</b>	9,4	<b>&lt;0,0001</b>	9,0	<b>&lt;0,0001</b>	12,4	<b>&lt;0,0001</b>	10,34	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Interação (estação do ano x ano)</b>	1,6	0,20	1,7	0,18	2,7	<b>0,04</b>	0,75	0,52

## Associação entre razão $PM_{2,5}/PM_{10}$ e variáveis meteorológicas

Conforme as tabelas 8 e 9 descritas abaixo, onde constam as variáveis independentes (parâmetros meteorológicos), pode-se destacar que para o ano 1, para a cidade de Candiota e Pelotas a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  teve uma associação significativa com temperatura e pluviosidade (correlação positiva), velocidade dos ventos, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e índice UV (relação negativa). Enquanto que Herval e Rio Grande associaram-se negativamente com velocidade do vento, pressão atmosférica e índice UV. Para o ano 2, percebe-se alterações nas cidades estudadas quando comparadas ao ano anterior, Candiota apresenta resultados significativos para os parâmetros temperatura, pluviosidade e índice UV (relação negativa). Herval foi o município com significâncias inversas para velocidade do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e índice UV. Já Rio Grande apenas para velocidade do vento e pressão atmosférica, ambas com relação inversa e Pelotas com temperatura, pluviosidade e velocidade do vento (relação negativa).

Tabela 8- Valores referentes aos resultados da regressão linear múltipla de cada cidade analisada no período de dezembro de 2020 a dezembro de 2021.

Ano 1	Candiota		Herval		Rio grande		Pelotas	
	Beta	P- valor	Beta	P- valor	Beta	P- valor	Beta	P-valor
Temperatura	0,22	0,00000	0,02	0,751	0,02	0,751	-	0,751
	5	1	1		1		0,02	0
Pluviosidade	0,07	0,002	0,01	0,663	0,01	0,663	0,05	0,251
	2		9		9		3	
Velocidade do vento	-	0,145	-	0,00000	-	0,00000	-	0,00000
	0,25		0,47	1	0,47	1	0,38	1
	6		8		8		5	
Umidade relativa do ar	-	0,00000	0,02	0,631	0,02	0,631	-	0,264
	0,05	1	6		6		0,06	
	5						3	

<b>Pressão atmosférica</b>	-	0,404	-	0,00000	-	0,00000	-	0,00000
	0,36		0,45	1	0,45	1	0,46	1
	2		4		4		3	
<b>Índice UV</b>	-	0,00000	-	0,00000	-	0,000	-	0,000
	0,59	1	0,38	1	0,38		0,37	
	3		7		7		1	

Valores em vermelho indicam significância (p<0,05)

Tabela 9- Valores referentes aos resultados da regressão linear múltipla de cada cidade analisada no período de dezembro de 2021 a dezembro de 2022.

Ano 2	Candiota		Herval		Rio grande		Pelotas	
	Beta	P-valor	Beta	P-valor	Beta	P-valor	Beta	P-valor
<b>Temperatura</b>	0,411	0,000001	0,024	0,741	0,023	0,782	0,161	0,023
<b>Pluviosidade</b>	0,119	0,023	0,084	0,083	0,064	0,195	0,212	0,000060
<b>Velocidade do vento</b>	-0,010	0,824	-0,252	0,000001	-	0,000001	-	0,000022
<b>Umidade relativa do ar</b>	-0,142	0,108	-0,260	0,000797	0,050	0,459	-	0,889
<b>Pressão atmosférica</b>	-0,095	0,051	-0,494	0,000001	-	0,000001	0,035	0,464
<b>Índice UV</b>	-0,512	0,000002	-0,451	0,000003	-	0,095	-	0,163
					0,151		0,134	

Valores em vermelho indicam significância (p<0,05)

Uma análise complementar de componentes principais (PCA) foi realizada para identificar os fatores mais relacionados com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  em cada município estudados. É considerado uma associação positiva, quando as variáveis estão dentro do mesmo quadrante. E uma associação negativa quando as variáveis estão no quadrante oposto. Quando consideramos a cidade Candiota, os fatores mais associados positivamente com a razão durante o primeiro ano investigado foram a velocidade dos ventos, a concentração de  $PM_{2,5}$ , pluviosidade e umidade relativa, ou seja, quanto maior forem essas variáveis maior será a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  enquanto o índice UV mostrou uma associação negativa com a razão, portanto quanto maior for o índice UV menor

será a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ . Para o segundo ano, as variáveis que se mantiveram associadas positivamente com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  em Candiota foram pluviosidade, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, ao passo que o índice UV reduziu sua associação negativa com a variável dependente estudada. Em Herval e Pelotas, durante o primeiro ano os fatores associados positivamente com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  foram umidade relativa e pluviosidade, já o índice UV apresentou uma relação inversa. Já para o segundo ano em Herval, apenas a temperatura mostrou uma associação positiva à razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , e a pressão atmosférica apresentou relação oposta, enquanto que em Pelotas, o segundo ano foi associado positivamente com a umidade relativa, pluviosidade e  $PM_{2,5}$ , e a velocidade do vento apresentou associação negativa. Na cidade de Rio Grande, umidade relativa do ar e pluviosidade mantiveram associação com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  durante o primeiro ano, enquanto o índice UV apresentou relação negativa. Durante o ano dois, a umidade relativa do ar, pluviosidade e  $PM_{2,5}$  apresentou associação com a razão e apenas índice UV e velocidade do vento indicaram efeitos contrários.

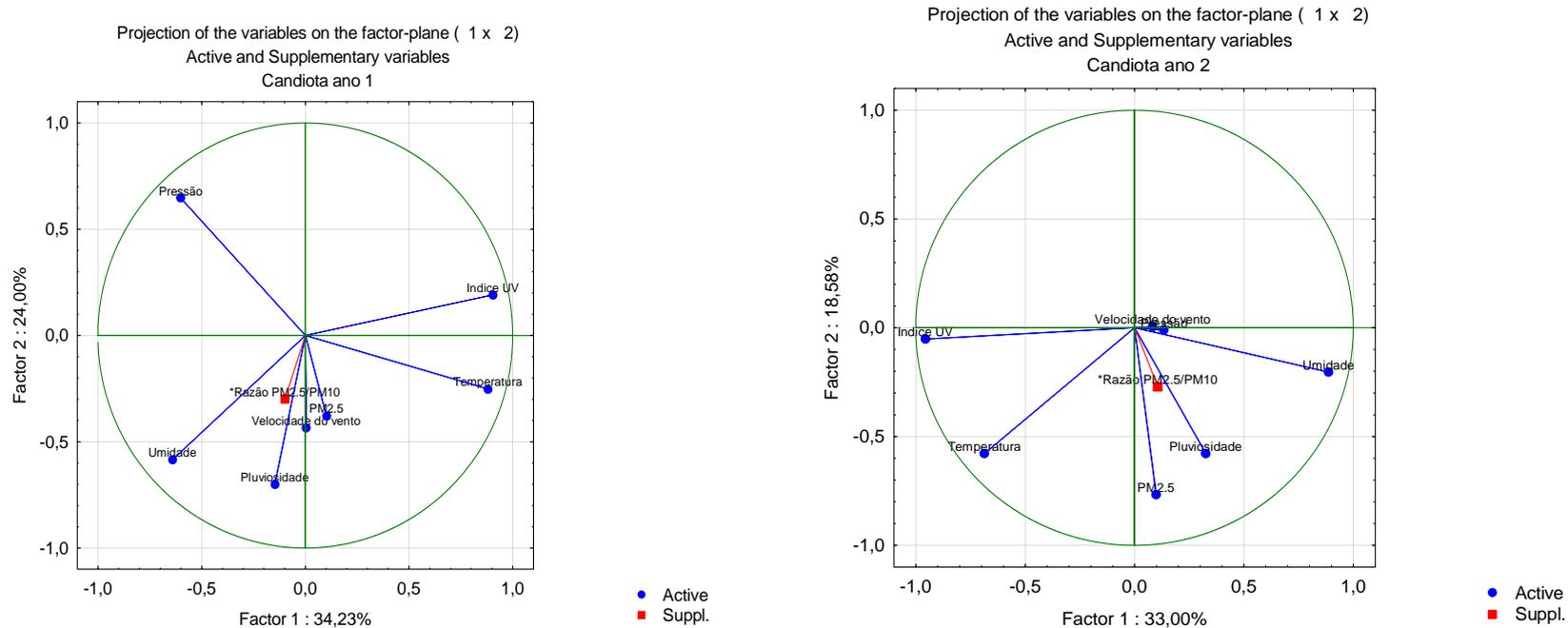


Figura 3: Análise de componentes principais da cidade de Candiotá referente ao ano 1(esquerda) e ano 2 (direita). Fator 1 é o eixo mais significativo enquanto o eixo 2 é o segundo mais significativo para explicar o comportamento das variáveis.

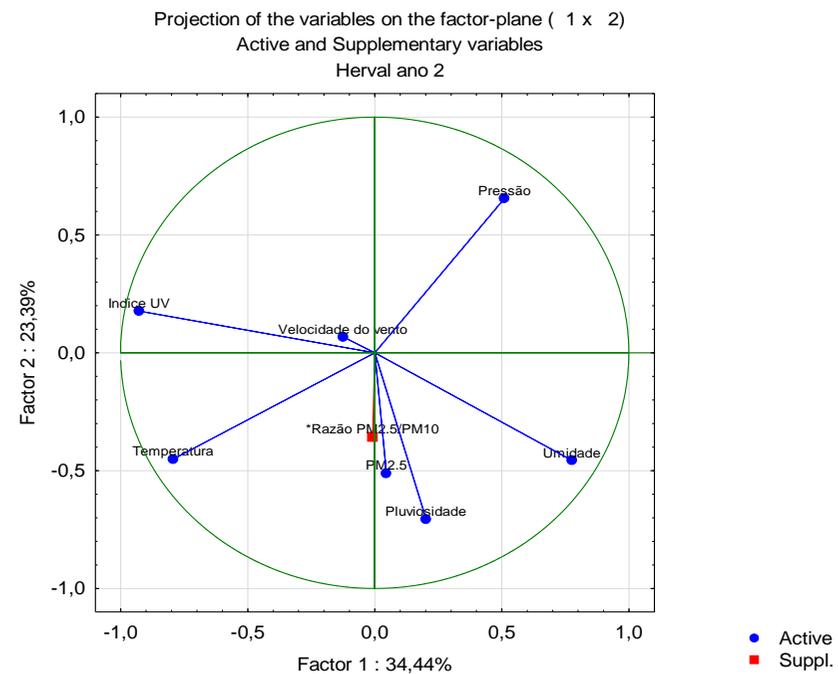
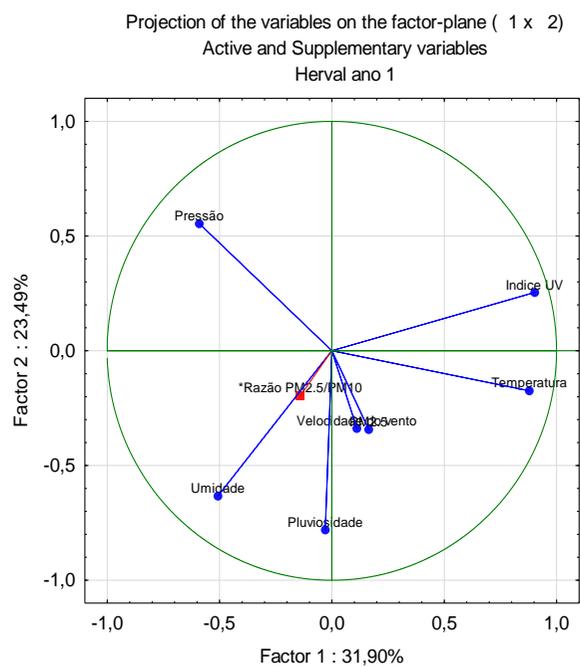


Figura 4: Análise de componentes principais da cidade de Herval referente ao ano 1(esquerda) e ano 2 (direita). Fator 1 é o eixo mais significativo enquanto o eixo 2 é o segundo mais significativo para explicar o comportamento das variáveis.

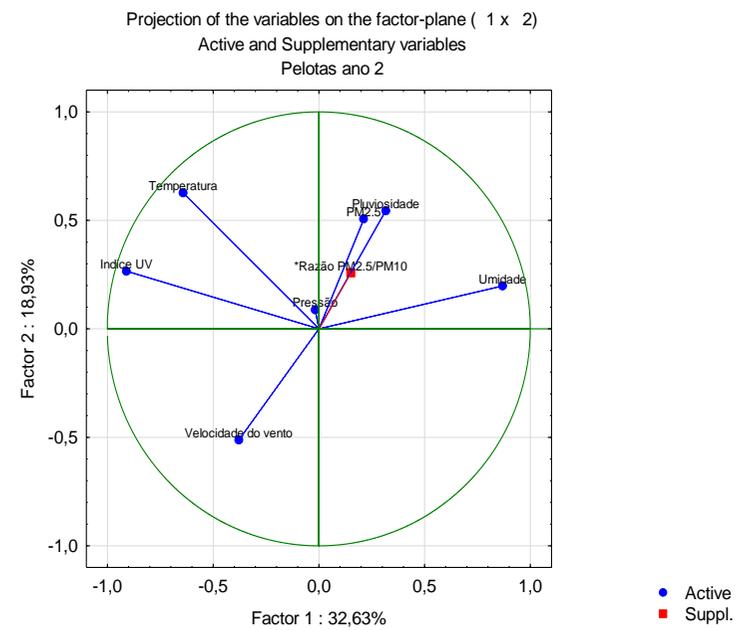
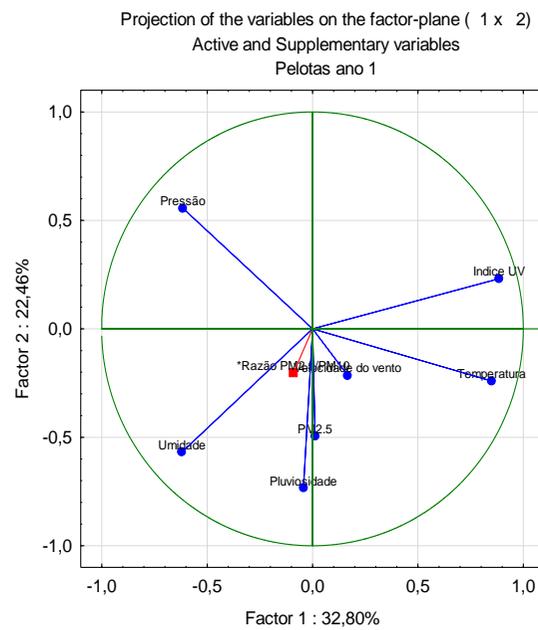


Figura 5: Análise de componentes principais da cidade de Pelotas referente ao ano 1(esquerda) e ano 2 (direita). Fator 1 é o eixo mais significativo enquanto o eixo 2 é o segundo mais significativo para explicar o comportamento das variáveis.

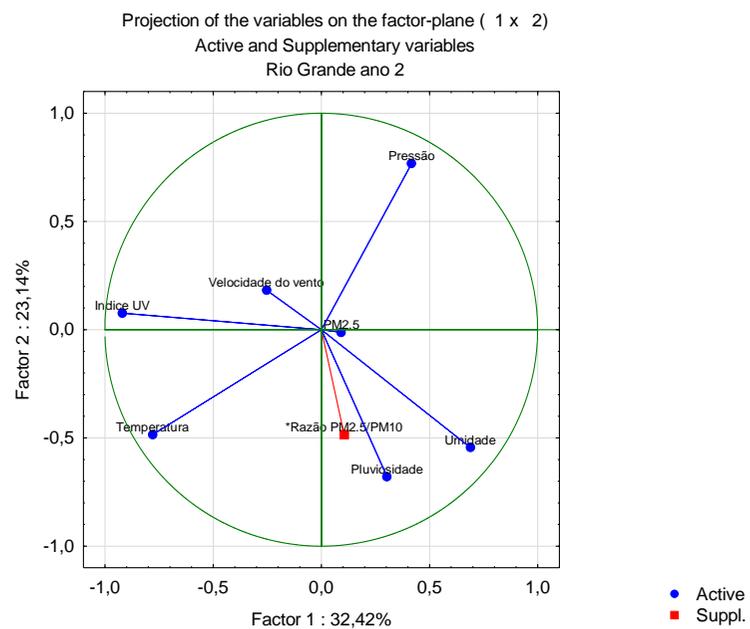
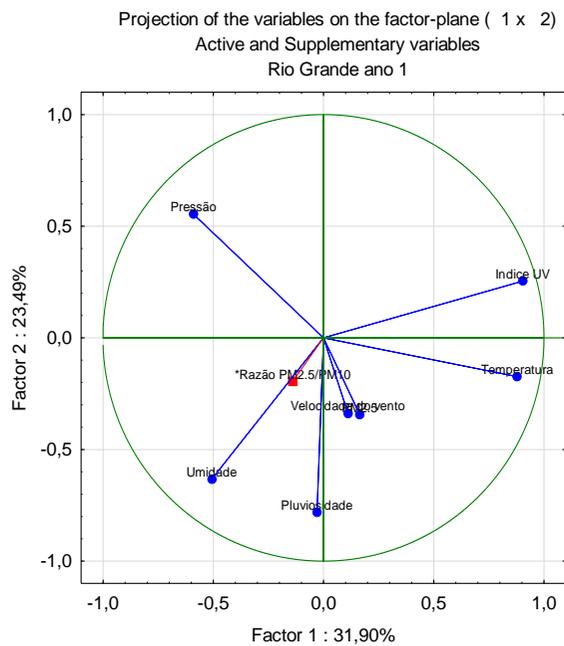


Figura 6: Análise de componentes principais da cidade de Rio Grande referente ao ano 1(esquerda) e ano 2 (direita). Fator 1 é o eixo mais significativo enquanto o eixo 2 é o segundo mais significativo para explicar o comportamento das variáveis.

É sabido que as variáveis meteorológicas exercem importante influência sobre os poluentes do ar, incluindo o PM, bem como na razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  (MIRANTE, 2013). Ainda assim, devido a condições locais específicas, a relação das variáveis meteorológicas com a concentração de PM é bastante variável. Byun et al (2020) estudando uma cidade com baixas emissões antropogênicas na Coreia do Sul constataram a alta correlação positiva entre umidade relativa e razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  e reportam a umidade relativa do ar influencia na formação de  $PM_{2,5}$  secundários. Baseado nas análises da PCA, nossos achados também revelaram essa associação entre as variáveis. O estudo de Spandana et al (2021) conduzido em sítios urbanos na Índia, mostrou associação negativa entre temperatura e velocidade dos ventos e a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , enquanto a umidade do ar mostrou uma tendência marginal de associação negativa com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ . Velocidade dos ventos e temperatura também estiveram associadas negativamente com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  em cidades do reino de Bahrein em um estudo de tendência temporal (COSKUNER et al 2018).

Além das variáveis meteorológicas, outras condições podem afetar a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , incluindo a densidade/atividade econômica. Entre os municípios estudados, Rio Grande foi o município com menor razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  enquanto Candiota apresentou a maior média da razão e, além de variáveis geográficas e meteorológicas, a atividade econômica predominante pode ter algum grau de influência sobre esta variação.

O estudo de Zhai (2022) reportou em uma investigação realizada em sete regiões naturais da China o impacto da atividade econômica sobre a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  e concluiu que esta variável é melhor indicador para intensidade de atividade antropogênica, visto que com o aumento da intensidade da atividade humana durante o dia, faz com que a poeira de ruas e rodovias fiquem ressuspensas no ar. Além disso, uma grande quantidade de poeira de construções civis influenciam muito a concentração de  $PM_{10}$ , o que reduz gradualmente a razão do  $PM_{2,5}/PM_{10}$ .

Lotrecchiano (2021), relatou que a atividade industrial, bem como o alto tráfego de veículos automotores podem contribuir junto com as variáveis meteorológicas para um aumento da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , pois a atividade econômica de cada região ajuda para que isso ocorra.

Pelotas é um município de médio porte, com significativa densidade populacional, apresenta alto tráfego de veículos por ser uma cidade com atividade comercial. Rio Grande apresenta atividade industrial, portanto a poluição atmosférica está relacionada a essa atuação, Candiota com termoelétrica, queima de carvão mineral e Herval com atividades rurais e também por ser uma cidade com certa proximidade de Candiota (59Km em linha reta), pode receber através dos ventos parte da poluição atribuída a queima e mineração de carvão. A distribuição espacial da razão apresentou relação positiva com o grau de desenvolvimento econômico e intensidade das atividades humanas.

O presente estudo pode ser considerado pioneiro na região sul, possuindo informações da razão do  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , bem como a associação com as variáveis meteorológicas e sazonalidade, portanto não apresenta muitas comparações e discussões com os municípios estudados. Ainda assim, alguns estudos apontam 2022 como um ano de comportamento considerado normal em relação à dinâmica dos poluentes do ar.

Uma limitação do trabalho é quanto a falta de estudos relacionados com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  no estado do Rio Grande do Sul e no Brasil, o que dificulta a comparação, uma vez que a maioria dos estudos são realizados no exterior, principalmente no continente asiático e no europeu.

## 6. CONCLUSÃO

Dentre as quatro cidades avaliadas nesse estudo, em todas o ano 1 apresentou uma razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  significativamente superior ao ano 2, estando relacionado com os impactos da pandemia e a estação inverno mostrou maior razão para os dois anos investigados, sendo associado às altas emissões oriundas dos processos de aquecimento doméstico (lareira e fogão a lenha). Os valores médios da razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  para o ano 1 e ano 2 respectivamente para Candiota foram 0,67 e 0,66, Herval 0,66 e 0,65, Rio Grande com 0,61 e 0,60 e Pelotas 0,64 e 0,63. As variáveis meteorológicas mais correlacionadas positivamente com a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$  nessas cidades foram umidade relativa do ar, temperatura e pluviosidade. As variáveis com efeito contrário foram índice UV, pressão atmosférica e velocidade do vento, portanto quanto maior forem essas variantes, menor vai ser a razão  $PM_{2,5}/PM_{10}$ . Por fim, pode-se concluir que a atividade econômica influencia positivamente e as variáveis meteorológicas possuem influências tanto positivas quanto negativas na dinâmica dos poluentes nas cidades estudadas.

## REFERÊNCIAS

- ABUELGASIM, Abdelgadir; FARAHAT, Ashraf. Investigations on PM10, PM2.5, and Their Ratio over the Emirate of Abu Dhabi, United Arab Emirates. **Springer: Earth Systems and Environment**, Abu Dhabi, p. 763-775, 21 nov. 2020.
- ADAMS, M. (2007). Air pollution in Europe 1990-2004.
- ALMAZROUI M, Islam MN, Saeed S, Alkhalaf AK, Dambul R (2017) Assessment of uncertainties in projected temperature and precipitation over the Arabian Peninsula using three categories of Cmp5 multimodel ensembles. **Earth Syst Environ** 1:23
- ALBAIDI M, Almazroui M, Mashat A, Jones PD (2017) Arabian Peninsula wet season dust storm distribution: regionalization and trends analysis (1983–2013). **Int J Climat** 37:1356–1373
- ANDRADE, Maria F.; MIRANDA, Regina M. M.; FORNARO, Adalgiza; KERR, Americo; OYAMA, Beatriz; ANDRE, Paulo A; SALDIVA, Paulo. Vehicle emissions and PM2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere and Health*, São Paulo, v. 5, p. 79–88, nov. 2012.
- ARBEX MA, Santos UP, Martins LC, Saldiva PH, Pereira LA, Braga AL. A poluição do ar e o sistema respiratório. **J Bras Pneumol**. 2012;38:643-55.
- AKINLADE, G.O., Olaniyi, H.B., Olise, F.S., Owoade, O.K., Almeida, S.M., Almeida-Silva, M., Hopke, P.K., 2015. Spatial and temporal variations of the particulate size distribution and chemical composition over Ibadan, Nigeria. **Environ. Monit. Assess.** 187 (8), 544
- BASAHI, JM, Ismail IM, Hassan IA, Almeelbi T, Haiba NS, Hammam E (2017) Total suspended particulate matter (TSP) and its associated heavy metals in atmosphere on the Western Coast of Saudi Arabia. **Pol J Environ Stud** 26:2419–2424
- BELL, ML, Samet JM, Dominici F (2004) Time-series studies of particulate matter. **Annu Rev Public Health** 25:247–280
- BIGOLIN, Raquel Bringmann. **Poluentes ambientais e sua associação com o desenvolvimento do autismo**. 2020. 19 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2020

BRAGA, C.F.; Teixeira, E.C.; Meira, L.; Wiegand, F.; Yoneam, M.L.; Dias, J.F.; *Atmos. Environ.* **2005**, 39, 1801.

BRAGA, Daniel Sena et al. Estudo da Relação entre Parâmetros Ambientais e Taxa de Sujidade em Módulos Fotovoltaicos. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2020.

BYUN, Jin-Yeo et al. High PM<sub>2.5</sub> concentrations in a small residential city with low anthropogenic emissions in South Korea. **Atmosphere**, v. 11, n. 11, p. 1159, 2020.

CASTANHO, A.D.A.; Artaxo, P.; *Atmos. Environ.* **2001**, 35, 4889.

CÉSAR, Ana Cristina Gobbo et al. Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children. **Revista Paulista de Pediatria [online]**. 2016, v. 34, n. 1 [Acessado 8 novembro 2022], pp. 18-23. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rppede.2015.12.005>>. ISSN 1984-0462. <https://doi.org/10.1016/j.rppede.2015.12.005>.

CHU, Hone-Jay *et al.* Modeling the spatio-temporal heterogeneity in the PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub> relationship. **Elsevier: Atmospheric Environment**, [s. l.], p. 176-182, 27 nov. 2014.

COELHO. M. DE S. Z. S.; SALDIVA. P. H. N. Use of the “Urban Air Index” to Estimate Morbidity and Mortality in Large Cities: Case Study São Paulo. Brazil. 19th Congress International of 442 Biometeorology. Auckland. 2011.

CONAMA. 2018. Resolução no 491/18 de 18 de novembro de 2018.: 7. Available at: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>

COSKUNER, Gulnur; JASSIM, Majeed S.; MUNIR, Said. Characterizing temporal variability of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio and its relationship with meteorological parameters in Bahrain. **Environmental Forensics**, v. 19, n. 4, p. 315-326, 2018.

CUBI PILCO, Hugo Germán. Determinación de la dispersión de contaminantes atmosféricos (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub>) emitidos en la calera El Rey de la Parroquia Calpi. 2022.

DA SILVA, Ageo Mário Cândido et al. Material particulado (PM). **Rev Bras Epidemiol**, v. 13, n. 2, p. 337-51, 2010.

DE VASCONCELLOS Ceglinski, L., Tavella, R. A., da Silva Bonifácio, A., Santos, J. E. K., & da Silva Júnior, F. M. R. (2022). Weekend effect on air pollutant levels in southernmost cities of Brazil with different economic activities. *Environmental monitoring and assessment*, 194(11), 1-12.

DOMINICI F, Greenstone M, Sunstein CR (2014) Particulate matter matters. **Science** 344:257

EEA. 2015. Air Quality in Europe-2015 report. **European Environment Agency**. Copenhagen.

FAJERSZTAJN, L., SALDIVA, P., PEREIRA, L.A.A., LEITE, V.F., BUEHLER, A.M. 2017. Short-term effects of fine particulate matter pollution on daily health events in Latin America: a systematic review and meta-analysis. **Int. J. Public Health**, 62(7): 729–738. <http://dx.doi.org/10.1007/s00038-017-0960-y>.

FATIMA, Sadaf et al. Variations and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> before and during COVID-19 lockdown phases in Delhi, India. **Mapan**, v. 37, n. 4, p. 937-955, 2022.

GAVIOLI, A.; SANTOS, G. da S.; SANT'ANA, M. H. S. de.; ALVES, V. de O.; MOTA RRTIZ, S. R. . Comprometimento da Função Cognitiva em Idosos Devido Exposição À Material Particulado. **Colloquium: health and education**, Mooça (SP), v. 1, n. 1, p. e020, 2021. DOI: 10.37497/colloquium.v1i1.20. Disponível em: <https://educacaoocienciasdasaude.emnuvens.com.br/recs/article/view/20>. Acesso em: 12 ago. 2023.

GÓMEZ-LOSADA, Álvaro; PIRES, José CM. Estimation of Particulate Matter Contributions from Desert Outbreaks in Mediterranean Countries (2015–2018) Using the Time Series Clustering Method. **Atmosphere**, v. 12, n. 1, p. 5, 2020.

GUTIERREZ, F.B., MARTINS, S.E., HONSCHA, L.C., BRUM, R.L., VARGAS, V.M.F., MIRLEAN, N., BAISCH, P.R.M., DA SILVA-JÚNIOR, F.M.R. 2020. Is There Something in the Air? Sources, Concentrations and Ionic Composition of Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) in an Industrial Coastal City in Southern Brazil. **Water Air Soil Poll.**, 31(5). <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-020-04611-0>.

HERNÁNDEZ-JARUFFE, Luis Alberto. Enfermedades Cardiometabólicas y su Relación con la Contaminación del Aire por Material Particulado (PM) y Otros Contaminantes Aerosoles, en una Población Adulta en Colombia. **Un Estudio Ecológico**. 2023.

IARC. 2013. Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. **International Agency for Research on Cancer**.

KIM KH, Kabir E, Kabir S (2015) A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environ Int** 74:136–143.

KHALIL, MAK; Butenhof CL, Porter WC, Almazroui M, Alkhalaf A, Al-Sahaf MS (2016) Air quality in Yanbu, Saudi Arabia. **J Air Waste Manag Assoc** 66:341–355

KHAN, A., PLANA-RIPOLL, O., ANTONSEN, S., BRANDT, J., GEELS, C., LANDECKER, H., SULLIVAN, P.F., PEDERSEN, C.B., RZHETSKY, A. 2019. **Environmental pollution is associated with increased risk of psychiatric disorders in the US and Denmark. PLoS Biol.**, 17(8): e3000353. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.3000353>.

KHODEIR M, Shamy M, Alghamdi M, Zhong M, Sun H, Costa M, Chen LC, Maciejczyk P (2012) Source apportionment and elemental composition of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Jeddah City. **Saudi Arabia Atmos Pollut Res** 3:331–340.

KILIAN, J. & KITAZAWA, M. 2018. The emerging risk of exposure to air pollution on cognitive decline and Alzheimer's disease – Evidence from epidemiological and animal studies. **Biomed. J.**, 41(3): 141–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bj.2018.06.001>.

KILIAN, J.; KITAZAWA, M. O risco emergente de exposição à poluição do ar no declínio cognitivo e na doença de Alzheimer -Evidências de estudos epidemiológicos e em animais Palavras-chave. p. 1–60, 2020.

Li, Z., Yang, X., Zhao, C., & Fan, T. (2021). Ratio of PM<sub>2.5</sub> to PM<sub>10</sub> Mass Concentrations in Beijing and Relationships with Pollution from the North China Plain. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 57(3), 421-434.

LANGRISH J, Li S, Wang S *et al* (2012) Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease. **Environ Health Perspect** 120:367–372

LEITTE A, Schlink U, Herbarth O *et al* (2011) Size-segregated particle number concentrations and respiratory emergency room visits in Beijing, China. **Environ Health Perspect** 119:508–513

LÓPEZ ML, Ceppi S, Palancar GG, Olcese LE, Tirao G, Toselli BM (2011) Elemental concentration and source identification of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> by SR-XRF in Córdoba City. **Argentina Atmos Environ** 45:5450–5457

LOTRECCHIANO, Nicoletta *et al*. Air pollution analysis during the lockdown on the city of Milan. **Processes**, v. 9, n. 10, p. 1692, 2021.

MANNUCCI, P.M. & FRANCHINI, M. 2017. Health effects of ambient air pollution in developing countries. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14: 1048. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph14091048>.

MAZZEI F, D'Alessandro A, Lucarelli F, Nava S, Prati P, Valli G, Vecchi R (2008) Characterization of particulate matter sources in an urban environment. **Sci Total Environ** 401:81–89

MERBITZ, H., Fritz, S., Schneider, C., 2012. Mobile measurements and regression modeling of the spatial particulate matter variability in an urban area. **Sci. Total Environ.** 438, 389 e 403.

MIRANTE, Fátima Isabel Cordeiro. **Distribuição Por Tamanhos Do Aerosol atmosférico Na Península Ibérica**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro (Portugal).

MUKHERJEE, A., & Agrawal, M. (2017). World air particulate matter: sources, distribution and health effects. *Environmental Chemistry Letters*, 15(2), 283-309.

MUNIR S (2017) Analysing temporal trends in the ratios of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> in the UK. *Aerosol Air Qual Res* 17:34–48

OMARI K, Abuelgasim A, Alhebsi K (2019) Aerosol optical depth retrieval over the city of Abu Dhabi, United Arab Emirates (UAE) using Landsat-8 OLI images. *Atmos Pollut Res* 10:1075–1083.

PANT. P.. HARRISON. R.M. Estimation of contribution of Road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*. n. 77. p. 78-97. 2013.

RÉQUIA, W.J., KOUTRAKIS, P. & ROIG, H.L. 2015. Spatial distribution of vehicle emission inventories in the Federal District, Brazil. *Atmos. Environ.*, 112: 32–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.029>

RESENDE, Fernando. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RODRIGUES, Poliany Cristiny de Oliveira et al. Climatic variability and morbidity and mortality associated with particulate matter. **Revista de Saúde Pública [online]**. 2017, v. 51 [Acessado 8 novembro 2022], 91. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2017051006952>>. Epub 05 Out 2017. ISSN 1518-8787. <https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2017051006952>.

RODRIGUEZ, S., Querol, X., Alastuey, A., Viana, M. M., Alarcon, M., Mantilla, E., & Ruiz, C. R. (2004). Comparative PM<sub>10</sub>–PM<sub>2.5</sub> source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain. *Science of the Total Environment*, 328(1-3), 95-113.

SACKS, Jason D. et al. Particulate matter–induced health effects: who is susceptible?. *Environmental health perspectives*, v. 119, n. 4, p. 446-454, 2011.

SANTO, G. do E.; PINTO, W. de P. Análise espectral de séries temporais: uma aplicação para a poluição do ar, na cidade de Vitória, Espírito Santo, Brasil. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Viçosa/MG, BR, v. 8, n. 2, p. 13892–01e, 2022. DOI: 10.18540/jcecvl8iss2pp13892-01e. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/13892>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SHUKLA, Saurabh et al. Appraisal of COVID-19 lockdown and unlocking effects on the air quality of North India. *Environmental Research*, v. 204, p. 112107, 2022.

SILVA, Claudia Larissa Viana da. **Exposição concomitante ao material particulado da poluição do ar e a radiação solar em Epiderme Humana Reconstruída**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOLURI, D. S., Godoy, M. L. D., Godoy, J. M., & Roldão, L. A. (2007). Multi-site PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 18, 838-845.

SOUZA, Patricia Alexandre de et al. Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP). **Química Nova**, v. 33, p. 1247-1253, 2010.

SUGIMOTO N, Shimizu A, Matsui I, Nishikawa M (2016) A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM<sub>2.5</sub>-to-PM<sub>10</sub> ratios. **Particuology** 28:114–120.

SPANDANA, B. et al. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio characteristics over urban sites of India. **Advances in Space Research**, v. 67, n. 10, p. 3134-3146, 2021.

SCHRAUFNAGEL, D.E., Balmes, J.R., Cowl, C.T., De Matteis, S., Jung, S.-H., Mortimer, K., Perez-Padilla, R., Rice, M.B., Riojas-Rodriguez, H., Sood, A., Thurston, G.D., To, T., Vanker, A., Wuebbles, D.J., 2019. Air pollution and noncommunicable diseases: a review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air pollution and organ systems. **Chest** 155 (2), 417–426.

SPERANZA, A., Caggiano, R., Margiotta, S., Summa, V., Trippetta, S., 2016. A clustering approach based on triangular diagram to study the seasonal variability of simultaneous measurements of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> mass concentration ratios. **Arab. J. Geosci.** 9 (2), 132.  
<https://doi.org/10.1007/s12517-015-2158-z>.

TAVELLA RA, Galeao da Rosa Moraes N, Maciel Aick CD, Ramires PF, Pereira N, Soares AG, da Silva Júnior FMR. Weekend effect of air pollutants in small and medium-sized cities: The role of policies stringency to COVID-19 containment. **Atmos Pollut Res**. 2023 Feb;14(2):101662. doi: 10.1016/j.apr.2023.101662. Epub 2023 Jan 17. PMID: 36686558; PMCID: PMC9842451.

TAVELLA, R. A. ; SILVA JUNIOR, FLAVIO MANOEL RODRIGUES DA . Exploring the Interruption-Recovery Pattern of Air Pollutants During the COVID-19 Pandemic in Southern Brazil: An Analysis of the New Normal. **Mapan-Journal Of Metrology Society Of India**, 2023.

ULGUIM, Sabrina Morales et al. Dinâmica dos Poluentes Atmosféricos e o Modelo de Distanciamento Controlado do Rio Grande do Sul para Controle da Pandemia da Covid-19. 2021.

XU G, Jiao L, Zhang B, Zhao S, Yuan M, Gu Y, Liu J, Tang X (2017) Spatial and temporal variability of the PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio in Wuhan, Central China. **Aerosol Air Qual Res** 1–11.

YANG, Xingchuan et al. Comparison of ground-based PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations in China, India, and the US. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 7, p. 1382, 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2014). WHO's Ambient Air Pollution Database-Update 2014. *Ginebra, Suiza: World Health Organization (WHO)*.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2020. Coronavirus disease (COVID-19) - events as they happen. 2020. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they-happen>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.

ZHAI, Haoran et al. Spatio-Temporal Characteristics and Variation Pattern of the Atmospheric Particulate Matter Concentration: A Case Study of the Beijing–Tianjin–Hebei Region, China. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 120, 2022.