

## **Efeitos da poluição do ar na saúde: Evidências de portos brasileiros**

**Autores:** Gerciana Aparecida Rezende<sup>1</sup>

Flávia Chein Feres<sup>2</sup>

Paula Carvalho Pereda<sup>3</sup>

**Resumo:** Os portos marítimos são potenciais poluidores atmosféricos. O trabalho analisa impacto da poluição do ar de portos brasileiros no bem-estar de grupos vulneráveis que vivem nas suas proximidades. Estimou-se o efeito do PM10 na saúde usando a atividade portuária como instrumento para a poluição. Descobriu-se que a atividade portuária tem efeitos positivos na concentração de PM10, quanto maior a movimentação nos portos, maior o nível de poluição do ar, implicando em aumento na probabilidade de hospitalizações por doenças respiratórias. Concluímos que portos com grande movimentação de cargas e navios são grandes poluidores iminentes e afetam a saúde da população.

**Palavras-chaves:** Poluição do ar, saúde, portos.

**Abstract:** Seaports are potential air polluters. The work analyzes the impact of air pollution in Brazilian ports on the well-being of vulnerable groups living nearby. The effect of PM10 on health was estimated using port activity as an instrument for pollution. It was discovered that port activity has positive effects on the concentration of PM10, the greater the movement in ports, the higher the level of air pollution, resulting in an increase in the probability of hospitalizations due to respiratory diseases. We conclude that ports with a large movement of cargo and ships are major imminent polluters and affect the health of the population.

**Key-words:** Air pollution, health, ports.

**Classificação JEL:** Q51, Q53, I10, C33, C36

**Área 1 - Economia**

**Apoio Financeiro:** Os autores agradecem o apoio financeiro oferecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Economia na Universidade Federal de Juiz de Fora. Email: rezende.gerciana@estudante.ufjf.br.

<sup>2</sup> Professora da Universidade Federal de Juiz de Fora. Email: flavia.chein@ufjf.br.

<sup>3</sup> Professora da Universidade de São Paulo. Email: pereda@usp.br.

## 1. Introdução

Um fator que afeta a saúde e o bem-estar da população é a poluição. A exposição humana à poluição do ar é determinada pela concentração de poluentes atmosféricos nos ambientes onde as pessoas passam seu tempo e pela quantidade de tempo que passam no local. Os níveis de poluição sofrem variações espaciais e temporais substanciais, e as pessoas encontram diferentes concentrações à medida que se deslocam de um lugar para outro ao longo do dia. As exposições são fortemente influenciadas pela localização das fontes em relação às populações, na qual, próximo à fonte, a exposição tende ser maior (WHOa (2006)). Os poluentes ambientais que produzem consequências negativas na saúde são gases que causam mudanças climáticas. De acordo com Jacobson *et al.* (2021), toda população sofrerá as consequências das mudanças climáticas, mas os riscos à saúde dependem da localização e do estilo de vida das pessoas expostas.

Segundo Girard e Nocca (2020), a poluição nas cidades decorre em particular das zonas portuárias e dos centros históricos, locais que apresentam fortes pressões de trânsito, pessoas e atividades com impactos ambientais inevitáveis. Nos portos, um dos principais locais de poluição, o transporte marítimo movimenta 80 % mercadorias comercializadas em todo o mundo, produzindo aproximadamente 3 % dos gases de efeito estufa e outros poluentes perigosos, como Material Particulado (PM), Óxidos de Nitrogênio (NOx) e Óxidos de Enxofre (SOx) que são prejudiciais à saúde (MUELLER *et al.* (2023)). Neste estudo, direcionamos nossos esforços para capturar os efeitos da poluição do ar proveniente de portos sobre a saúde da população que reside nas proximidades, utilizando dados diários de tonelage e número de navios que atracam nos portos como uma variável instrumental para a poluição (PM10).

Dadas as crescentes preocupações globais relacionadas aos impactos das mudanças climáticas na saúde, várias pesquisas recentes têm destinado atenção para a poluição do ar. Neste contexto, o objetivo do ensaio é avaliar os efeitos da poluição atmosférica nas internações por doenças respiratória da população residente nas proximidades dos portos (porto de Santos e de Vitória). Esses portos estão localizados em cidades brasileiras que possuem um serviço de monitoramento da qualidade do ar, e, além disso, os dois portos são considerados os maiores do Brasil em termos de movimentação de carga, de acordo com a ANTAQ. O motivo da análise baseia-se no fato de o ambiente portuário ser altamente poluidor e também porque tendem a estar localizadas em áreas altamente populosas e de baixa renda, impactando assim negativamente a qualidade de vida da população que vive nas proximidades (ABRANTES e BARELLA (2019); Gillingham e Huang (2021)).

A análise empírica consiste em explorar a variação exógena quase aleatória de movimentação nos portos para estimar como a poluição do ar influencia a saúde humana. A hipótese é que o número de navios que chegam e partem dos portos, o tempo que um navio permanece atracado e/ou o volume de mercadorias transportadas nas chegadas e partidas são fatores determinantes no nível de poluição da região. De acordo com ABRANTES e BARELLA (2019), quanto maior o volume de cargas movimentadas por um porto, maiores tendem a ser os impactos negativos no meio ambiente.

O primeiro resultado encontrado indica que existe um efeito das movimentações de carga nos portos sobre as concentrações de poluentes. Observou-se que o aumento de 1% na tonelage aumenta os níveis de PM10 em cerca de  $0,2185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Em segundo lugar, descobriu-se que a poluição aumenta a probabilidade de internações relacionadas a problemas respiratórios para bebês e idosos. Constatou-se que o aumento de 1 % no volume da tonelage aumenta a probabilidade de internações de bebês em aproximadamente 0,027 % e de idosos em 0,011 %. No exercício de robustez, no qual diversificou os instrumentos para poluição, utilizando o número de atracações de navios nos portos, também foram encontrados impactos nos níveis de poluição e nas hospitalizações, embora em menor magnitude. Isso permite inferir que existe uma combinação de emissões relacionadas ao volume de tonelage e números de navios no porto, e que esses efeitos se somam.

Pretende-se, com essa temática, compreender os impactos da poluição que decorre da atividade portuárias sobre a saúde de grupos da população no seu entorno, contribuindo assim para a valorização da saúde destes moradores. Além disso, avaliar o impacto da poluição do ar é de interesse da saúde pública, devido aos efeitos negativos na qualidade de vida das pessoas e resultados econômicos, como ausências no trabalho e na escola. Dado que existem poucos estudos sobre os efeitos espaciais da poluição do ar na saúde da população brasileira, especialmente no que se refere à poluição do ar de origem portuária, estudos como este se tornam necessários para compreender os padrões e escalas intra-urbanos desta relação. Além disso, o conhecimento acerca dos impactos negativos dos portos permite pensar em políticas de adaptação das atividades portuárias, de forma a causar menos danos ao meio ambiente e à sociedade.

Na literatura, podemos destacar dois trabalhos que são a base para esta análise. Gillingham e Huang (2021) e Moretti e Neidell (2011) abordaram a relação da poluição do ar dos portos marítimos nos Estados Unidos e a saúde humana. Gillingham e Huang (2021) exploraram a variação quase aleatória de navios nos portos e de eventos climáticos distantes no oceano para estimar como o tráfego portuário influencia a poluição do ar e afeta a saúde. Moretti e Neidell (2011) utilizaram o tráfego diário de navios no Porto de Los Angeles como determinante do nível ozônio. Ambos encontram efeitos positivos do número de navios, tonelagem movimentada e tráfego nos portos sobre o número de internações hospitalares. Além desses, Brewer (2020) também analisou os efeitos das emissões portuárias na saúde humana da população costeira italiana. Segundo os autores, os danos à saúde pública e à produção agrícola são causados pelos navios que transitam pelas zonas costeiras e que entram e saem dos portos.

De forma análoga, outros estudos se relacionam com este, como Schlenker e Walker (2016), que analisaram a poluição do ar provenientes de aeroportos da Califórnia, utilizando como fator exógeno o congestionamento das pistas dos aeroportos. Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana decorrente de local próximo de trânsito intenso de caminhões a diesel foram explorados por He *et al.* (2018). Os autores analisaram a mudança na configuração do trânsito ocorrida devido à inauguração de um anel viário que removeu o fluxo de caminhões a diesel do centro de São Paulo, e os carros de passeio a gasolina e etanol preencheram o espaço deixado. Inicialmente, com saída dos caminhões das vias, houve uma redução no congestionamento, na poluição do ar e nas hospitalizações. Posteriormente, com ocupação pelos automóveis de passeio, os efeitos no ar e na saúde persistiram. Ainda no contexto de trânsito, Knittel *et al.* (2016) investigou os impactos do congestionamento de automóveis na poluição do ar local e na saúde infantil, encontrando evidências positivas, sugerindo que redução da poluição ambiental e do congestionamento do tráfego oferece oportunidades para ganhos de saúde. Heo *et al.* (2023) contribuem com a literatura de poluição do ar e saúde ao observar que o transbordamento da poluição chinesa causa impactos negativos na mortalidade e morbidade da população na Coréia do Sul, além de mostrar que as políticas ambientais adotadas na China geram benefícios para os países vizinhos. Em comum, esses estudos citados abordam a heterogeneidade local de poluentes associados a diversos tipos de tráfego e os danos na saúde humana.

O ensaio é composto por 5 seções. A primeira seção é esta introdução, seguida por uma breve contextualização acerca da poluição derivada de portos e a relação da poluição atmosférica com saúde humana. A terceira seção, denominada metodologia, descreve os dados e a estratégia empírica. A quarta seção apresenta os principais achados e, por fim, a quinta seção traz as considerações finais e contribuições.

## **2. Contextualização**

### **2.1. Poluição do ar e portos**

Os poluentes atmosféricos podem ser emitidos para atmosfera, denominado de primários, ou formados na própria atmosfera, chamados de secundários. Os poluentes primários do ar incluem dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, compostos voláteis e partículas carbonáceas e não carbonáceas. Poluentes atmosféricos secundários surgem de reações químicas de

poluentes primários na atmosfera, muitas vezes envolvendo componentes naturais do ambiente, como água e oxigênio. Incluem, ozônio, óxidos de nitrogênio e material particulado secundários (WHO (2006a)).

A poluição do ar é um dos principais impactos ambientais gerados pelos portos, principalmente as emissões de gases de efeito estufa, que contribuem para as mudanças climáticas. Além disso, causa danos à saúde dos residentes das comunidades locais ao redor do porto. As principais fontes de poluição nos portos são as escalas de navios e atividades terrestres, particularmente as operações de carga e as atividades industriais e logísticas em áreas portuárias e nas proximidades (NOTTEBOOM *et al.* (2022)).

Segundo Bailey e Solomon (2004), os portos marítimos são grandes centros de atividade econômica e de poluição ambiental nas áreas urbanas costeiras. Destacam que os portos são grandes fontes de poluentes atmosféricos que afetam a saúde dos moradores das comunidades locais. De acordo com os autores, os principais poluentes do ar relacionados às atividades portuárias que podem afetar a saúde humana são: exaustão de diesel, material particulado (PM), compostos orgânicos voláteis (VOCs), óxidos de nitrogênio (NOx), ozônio, óxidos de enxofre (SOx), monóxido de carbono (CO), formaldeído, metais pesados, dioxinas e pesticidas. A poluição do ar é proveniente não apenas embarcações marítimas, mas também de caminhões, locomotivas e equipamentos *off-road* usados para movimentação de carga. Além disso, segundo Bailey e Solomon (2004), os efeitos dos poluentes do ar na saúde dos moradores das áreas adjacentes incluem asma, outras doenças respiratórias, doenças cardiovasculares, câncer de pulmão e mortalidade prematura. Especialmente em crianças, esses efeitos estão associados a asma, bronquite, faltas escolares e visitas ao pronto-socorro.

## 2.2. Poluição do ar e saúde

A poluição do ar ambiente consiste em uma mistura altamente variável e complexa de diferentes substâncias, muitos dos componentes são potencialmente prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (WHO (2006a)). A maioria das evidências encontradas em relação ao estado de saúde atribuídas a poluição se concentra nos efeitos respiratórios (por exemplo, Guidetti *et al.* (2020); Sant'Anna e Rocha (2020); Moraes *et al.* (2019); Machado-Silva *et al.* (2020)). Mas, encontra-se impactos em outras doenças tal como, cardiovasculares (Gouveia *et al.* (2006)), na mortalidade e câncer (Ribeiro *et al.* (2019)) e no desenvolvimento e desfechos relacionados à gravidez (Arroyo *et al.* (2016); Currie *et al.* (2009); Lima *et al.* (2014); Rangel and Vogl (2019); Santos *et al.* (2014); Trasande *et al.* (2016)).

No mundo todo, a carga geral estimada de doenças devido à poluição atmosférica externa pode ser responsável por aproximadamente 1,4% da mortalidade total, 0,5% de todos os anos de vida ajustados por incapacidade e 2% de todas as doenças cardiopulmonares (WHO (2006a)).

Os estudos apontam que alguns grupos populacionais são mais predispostos aos efeitos da poluição. São crianças, idosos e pessoas com condições de saúde pré-existente, como asma, DPOC e doença cardíaca isquêmica. As crianças têm taxas de doenças respiratórias mais altas do que os adultos e, uma maior ingestão de poluentes do ar por unidade corporal. Além disso, normalmente passa mais tempo ao ar livre do que os adultos, aumentando assim, seu potencial de exposição (SCHWARTZ (2004); WHO (2006a)). Os componentes do sistema respiratório são afetados pelo envelhecimento, tornando os idosos mais propensos as infecções respiratórias devido a um declínio na resposta a imunidade. Os idosos também podem ser mais suscetíveis à exposição de partículas devido acúmulo decorrente ao longo da vida (WHO (2006a)).

Ademais, outras condições da população são apontadas como fatores de risco dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde. Como, condições sociais, em que o nível socioeconômico mais baixo está associado a nível aumentado de exposição e estes apresentam estado de saúde, comportamento ou traços mais predisponentes. Além do mais, pessoas com status socioeconômicos mais baixo apresenta

maiores probabilidades de viver em grandes cidades poluídas, perto de estradas, plantas industriais ou outras fontes de poluentes (WHO (2006a)).

### 3. Metodologia

#### 3.1. Base de dados e construção

##### Portos

Os dados sobre a movimentação portuária foram obtidos junto à Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). A ANTAQ fornece informações sobre a data de atracação e desatracação de navios, a origem e destino das embarcações, o volume de carga -- em toneladas movimentadas -- de cada navio por porto brasileiro. Esses dados incluem navios de carga containerizada, cargas gerais, granel sólido, granel líquido e gasoso. Para construir a medida de tráfego portuário, foram calculadas diversas variáveis semelhantes as utilizadas por Gillingham e Huang (2021) e Moretti e Neidell (2011): (i) o número de navios que atracam e desatracam por dia; (ii) o número de navios ancorados no porto diariamente; e (iii) o volume de toneladas movimentadas por dia para o complexo portuário de Santos e o de Vitória, respectivamente.

O foco foram os portos de Vitória e Santos devido à limitação dos monitores de monitoramento da qualidade do ar. Apenas nas cidades vizinhas a esses dois portos havia monitores que coletavam dados horários e diários com frequência. Segundo os dados da ANTAQ (2023), em 2021, o Porto de Santos foi considerado o segundo maior do país em termos de movimentação de carga, representando aproximadamente 9,3 % do total movimentado pelos portos brasileiros. Seguido pelo Terminal de Tubarão do Complexo portuário de Vitória, que representou 5,3 % do total. Além disso, o Porto de Santos está classificado entre os cem maiores do mundo, ocupando a 41ª posição em 2021 (LLOYD'S LIST (2022)).

##### Poluição do ar

As variáveis de poluição são monitoradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para o Estado de São Paulo e pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) para o Estado do Espírito Santo. Ambos coletam dados de hora em hora de diversos monitores. Consideramos todos os cinco monitores existentes para as cidades do São Paulo e sete<sup>4</sup> monitores para as cidades do Espírito Santo. A análise restringe-se ao material particulado com diâmetro inferior a 10 micrômetros (PM10), em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , porque é regularmente coletado por todos os monitores. Os outros poluentes, como ozônio ( $O_3$ ), além de possuir mais observações faltantes, são menos presentes nos monitores<sup>5</sup>. A utilização de apenas um tipo de poluente é comum na literatura, e os resultados são significativos. Para PM, por exemplo, podem ser vistos em Guidetti *et al.* (2020), Sant'Anna e Rocha (2020). Além do mais, é difícil diferenciar os efeitos quando se utiliza múltiplos poluentes (DERYUGINA *et al.* (2019)).

A construção dos dados de poluição diária envolve algumas etapas, como explicado em Guidetti *et al.* (2020), que utiliza dados da CETESB para a Região Metropolitana de São Paulo. Primeiramente, para os dados horários ausentes, as informações foram preenchidas calculando a média ponderada entre a hora anterior e a hora seguinte por  $1 - \frac{|h_i - h_m|}{h_a - h_b}$   $i=a,b$ , em que  $h_a$  é a hora seguinte,  $h_b$  é a hora anterior e  $h_m$  é a hora faltante<sup>6</sup>. Quando havia doze horas ou mais sem dados no dia, a informação da poluição para aquele dia foi considerada como *missing*. Depois, calculou-se a média diária com base

<sup>4</sup> Foram descartados dois monitores, pois mais de 60% da amostra para PM10 não possuía observações.

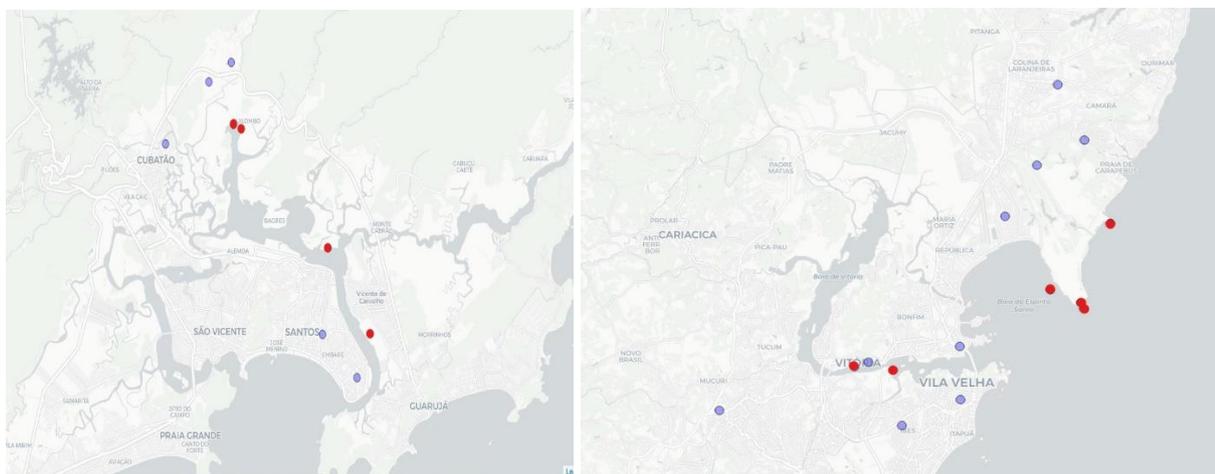
<sup>5</sup> Dos cinco monitores das cidades de São Paulo, há coleta de dados para  $O_3$  apenas em quatro. Dos nove monitores das cidades do Espírito Santo, há informações para  $O_3$  somente em quatro.

<sup>6</sup> Por exemplo: Se não houver informações para 16h e 17h, mas há informações para 15h e 18h. Para 16h, o valor é preenchido com uma média ponderada das informações de 15h por  $\frac{2}{3}$  e 18h por  $\frac{1}{3}$ . De maneira semelhante, para as 17h, pondera-se as informações de 15h por  $\frac{1}{3}$  e 18h por  $\frac{2}{3}$ .

nos dados horários do dia. Para os dias faltantes, seguiu-se o mesmo procedimento de média ponderada, substituindo a hora por dia.

Atribuir o verdadeiro nível de poluição aos indivíduos é complicado por diversos motivos. Segundo Moretti e Neidell (2011), os indivíduos podem adotar comportamentos de evitação a poluição (em inglês, *avoidance behavior*), o que pode gerar viés negativo devido a mudanças de comportamento e também em razão de problemas de erros de medida. Com o objetivo de minimizar possíveis erros de medição na atribuição da exposição à poluição dos indivíduos, para compilar os dados, foi realizada uma interpolação espacial dos monitores em relação aos bairros para obtermos a exposição aos poluentes no nível de bairro. Isso foi feito utilizando como critério a ponderação pelo inverso da distância e as coordenadas geográficas para calcular as distâncias. A interpolação foi realizada para todos os bairros das seis cidades (Santos, Cubatão, Cariacica, Serra, Vila Velha e Vitória) utilizando as informações de PM10 dos cinco monitores de São Paulo e dos sete monitores do Espírito Santo.

A distância máxima entre os bairros e os monitores de poluição é inferior aos 25 quilômetros, o que é menor que as 25 milhas consideradas por Gillingham e Huang (2021). Entre bairros e o porto, a distância máxima é aproximadamente de 34 quilômetros. O monitor mais distante do porto está a cerca de 17 quilômetros. A Figura Fig1 exibe a localização dos monitores em azul e dos terminais portuários em vermelho.



Notas: Na primeira imagem estão a localização dos monitores de Santos, pontos em azul, e os terminais do Complexo Portuário de Santos, pontos em vermelho. Na segunda imagem estão os monitores das cidades do Espírito Santo, pontos em azuis, e os terminais do Complexo Portuário de Vitória, pontos em vermelho.

Figura 1: Localização dos monitores e portos considerados na análise

## Saúde

Os dados de saúde foram coletados junto ao Sistema de Internação do Sistema Único de Saúde (SIH-SUS), um dado administrativo do sistema público de saúde brasileiro, o SUS, que contém informações sobre internações ocorridas no sistema público de saúde ou financiadas pelo SUS. Foram selecionadas todas as internações de pessoas que residiam nas cidades de Cubatão, Santos, Vitória, Vila Velha, Cariacica e Serra, cujo diagnóstico estava relacionado às "Doenças do Aparelho Respiratório"<sup>7</sup> conforme a Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde - Décima Revisão (CID-10). Os dados do SIHSUS incluem o CEP de

<sup>7</sup> São elas: Faringite aguda e amigdalite aguda, Laringite e traqueíte agudas, Outras infecções agudas das vias aéreas superiores, Influenza (gripe), Pneumonia, Bronquite aguda e bronquiolite aguda, Sinusite crônica, Outras doenças do nariz e dos seios paranasais, Outras doenças do trato respiratório superior, Bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas, Asma, Bronquiectasia, Pneumoconiose, Outras doenças do aparelho respiratório.

residência dos pacientes internados, a data de internação, a duração da internação, a idade do paciente, os gastos com a internação, o gênero e raça<sup>8</sup> dos indivíduos, entre outras variáveis.

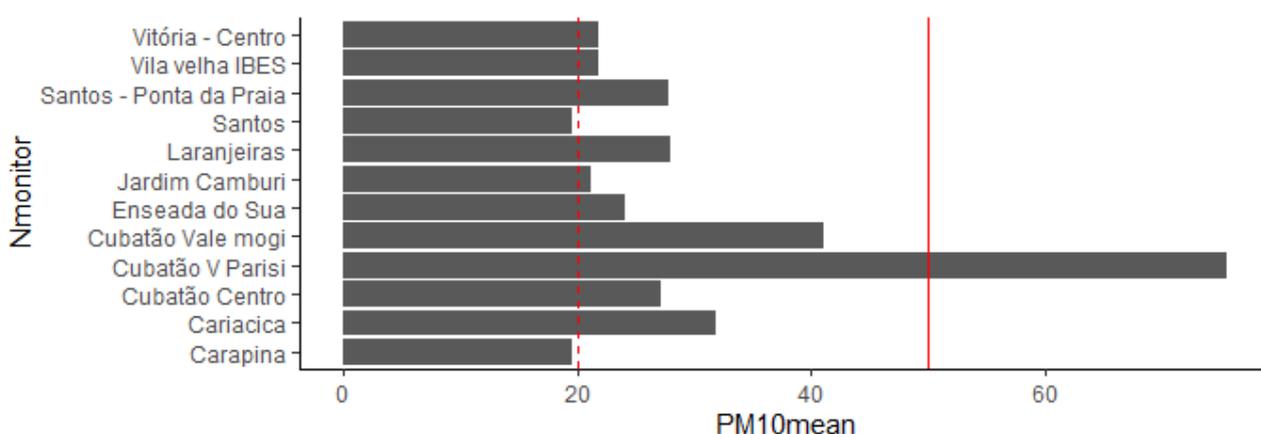
A amostra foi dividida em três grupos etários: (i) bebês (idade entre 0 e 11 meses); (ii) crianças (idade entre 1 e 5 anos); (iii) idosos (idade igual ou superior a 60 anos). A exposição de curto prazo à poluição destes grupos é mais próxima ao local de residência e são consideradas mais suscetíveis aos efeitos da mudança do tempo e à exposição à poluentes atmosféricos, como (SCHWARTZ (2004); MORAES *et al.* (2019); CURRIE *et al.* (2009)) mostram. Neste sentido, decidimos focar nesses grupos. O CEP de residência reportado pelo SIHSUS foi utilizado para georreferenciar e associar os indivíduos aos bairros.

### Climáticas

As variáveis meteorológicas utilizadas foram a temperatura mínima e máxima, em graus Celsius, precipitação, em milímetros, umidade relativa, em porcentagem, velocidade do vento, em metros por segundo, e, radiação solar, em MJ/m<sup>2</sup>, obtidas junto ao Xavier *et al.* (2022). Os autores coletaram dados diários de estações meteorológicas e pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA), com resolução espacial 0,25° x 0,25°. Para aprimorar o conjunto de dados meteorológicos, os autores executaram interpolações em grade, aumentando a resolução para 0,1° x 0,1°. A escolha desses dados se deve ao fato de serem gerados a partir de observações e pelo fato de os autores terem utilizado diversas técnicas de interpolação, comparando-as para selecionar o melhor método que proporcionasse dados de alta qualidade.

### 3.2. Estatísticas Descritivas

A amostra total contém 470 bairros de seis cidades localizadas próximas de portos (Cubatão, Santos, Cariacica, Vila Velha, Vitória e Serra) de dois estados (São Paulo e Espírito Santo) para o período de 2015-2019. A Figura 2 apresenta a média diária de PM10 para cada monitor. A linha vermelha pontilhada indica o nível satisfatório para a média anual de PM10 recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e a linha forte representa a concentração máxima por dia. Segundo a OMS, os níveis aceitáveis de PM10 são 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para a média anual e 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para a média de 24 horas (WHO (2006b)). Nota-se que em quase todos os monitores, o nível de PM10 foi acima do recomendado para a média anual.



Notas: O gráfico mostra a média de PM10 por monitor. As linhas são as recomendações da OMS, a linha pontilhada é para a média anual e linha normal é para a média de 24 horas.

Figura 2: Média de PM10 por monitor, e o nível recomendado pela OMS

<sup>8</sup> Nos dados deste estudo, aproximadamente 79% das internações total possuem essa informação.

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva, média e desvio padrão, da probabilidade de hospitalização por grupos etários para cada ano, média e desvio padrão. As informações no painel A são para bebês com menos de 1 ano de idade, no painel B são para crianças com idade entre 1 e 5 anos e, por fim, no painel C são para idosos com idade igual ou superior a 60 anos. As médias diárias oscilam ao longo dos anos. Entre os três grupos, os bebês apresentam as menores probabilidade médias diárias de internação, enquanto os idosos têm as maiores probabilidades médias diárias.

Tabela 1: Estatísticas da probabilidade de internações por grupos para cada ano.

<b>Ano</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Painel A – Grupo de Bebês (idade entre 0 - 11 meses)</b>		
2015	0,8312	9,0793
2016	0,7784	8,7883
2017	0,7199	8,4542
2018	0,9671	9,7863
2019	0,5928	7,6767
<b>Painel B – Grupo de Crianças (idade entre 1 - 5)</b>		
2015	1,0866	10,3671
2016	0,9499	9,6999
2017	0,7724	8,7545
2018	1,0079	9,9886
2019	0,6359	7,9494
<b>Painel C – Grupo de idosos (idade igual ou maior que 60)</b>		
2015	1,4276	11,8625
2016	1,1644	10,7277
2017	1,1571	10,6944
2018	1,0685	10,2814
2019	0,8994	9,4411

Notas: A tabela apresenta a probabilidade média diárias de internações o desvio padrão, desagregado por faixa etária e ano para as seis cidades que faz parte da análise. A variável de internação é binária, igual 1 se houve internação no dia e zero caso contrário, e, multiplicada por 100.

A Tabela 2 apresenta o resumo das concentrações médias de PM10, de toneladas movimentadas e das atracções de navios diárias por ano. Ao longo dos anos, observa-se uma redução nas médias das três variáveis, sugerindo a existência de uma correlação entre elas. Além disso, é possível deduzir uma leve correlação com probabilidade de hospitalização.

Tabela 2: Estatísticas de PM10, toneladas e navios por ano.

<b>Ano</b>	<b>PM10</b>			<b>Tonelada</b>			<b>Navios</b>		
	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máxima</b>
2015	33,58	15,63	282,54	425,04	260,48	1326,03	64,83	57,55	373
2016	27,30	11,31	214,07	349,74	241,18	1544,35	61,03	58,31	323
2017	24,30	10,45	181,07	365,96	229,40	1238,96	58,34	59,92	317
2018	21,76	8,76	198,21	354,47	220,17	1176,89	54,96	60,56	285
2019	22,57	9,93	166,69	291,13	203,69	1105,81	38,45	55,87	297

Notas: A tabela apresenta média, máxima e desvio padrão diárias por ano para PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), o volume movimentado nos portos em toneladas/1000 e quantidade de atracções de navios (incluem navios de pequeno e grande porte).

### 3.3. Estratégia Empírica

Estimar o impacto direto da poluição do ar nos resultados de saúde da população em torno dos portos pode gerar a uma estimativa tendenciosa. Isso ocorre porque a exposição à poluição não é atribuída aleatoriamente aos residentes. As pessoas mais exigentes podem optar por áreas mais limpas ou ajustar suas rotinas diárias com base na previsão de poluição (Gillingham e Huang (2021)). Além

disso, existem possíveis erros de atribuição dos níveis poluição aos bairros. Para contornar esses problemas, empregamos a abordagem de variáveis instrumentais, realizando nossa análise em dois estágios e utilizando a variação diária de navios ou toneladas nos portos como estratégia de identificação.

Ou seja, para estimar o efeito causal das concentrações diárias de poluição nas internações hospitalares em áreas portuárias, a análise ocorre em dois estágios, com base em (Gillingham e Huang (2021) e Moretti e Neidell (2011)). No primeiro estágio, estimamos a regressão que relaciona o nível de atividade portuária sobre a poluição do ar (Equação 1). No segundo estágio, uma regressão da probabilidade de hospitalização com a poluição do ar (Equação 2). Explorou-se a exogeneidade do volume de tonelage nos portos como determinante da poluição, ou seja, as atividades portuárias não afetam diretamente as hospitalizações por doenças respiratórias. O impacto nas internações ocorre apenas devido a influência no nível de poluição. Foram incluídos controles de fatores climáticos, como temperatura, precipitação e velocidade do vento, uma vez que esses fatores influenciam significativamente os níveis de poluição e estão relacionados às questões de saúde, de acordo com as seguintes especificações:

$$P_{it} = \alpha + \beta_1 VP_{jt} + \beta_2 VV_{it} + \theta X_{it} + \delta_t + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$Hosp_{it} = \gamma + \beta P_{it} + \theta X_{it} + \delta_t + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (2)$$

em que  $P_{it}$  é o nível de poluição diária no bairro  $i$ ,  $VP_{jt}$  é o nível de toneladas na data  $t$  no porto  $j$  ( $j$  = Complexo portuário de Santos ou Vitória),  $VV_{it}$  é a velocidade do vento no bairro  $i$ ,  $Hosp_{it}$  é uma dummy que assume valor 1 se houve hospitalização por doenças respiratórias no bairro  $i$  no dia  $t$  e zero quando não há registro de internação. O vetor  $X$  inclui temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação. Também inclui termos quadráticos para cada um dos controles.  $\delta_t$  e  $\mu_i$  são efeitos fixos de tempo (ano e dia da semana) e de bairro para capturar fatores locais invariantes no tempo que podem afetar os resultados, assim como erro de medição invariável no tempo.  $\epsilon_{it}$  é o termo de erro que inclui o comportamento de evitação, fatos não observados e erros de medição. Na Equação 1, o coeficiente de interesse  $\beta_1$  indica o efeito do tráfego portuário nas concentrações locais diárias de material particulado. Na Equação 2, o coeficiente de interesse  $\beta$  demonstra o efeito de um aumento de uma unidade nas concentrações de poluentes na probabilidade de hospitalização por dia, cuja causa está relacionada a doenças do sistema respiratório.

Para ser um instrumento válido e as estimativas serem não enviesadas,  $VP_{jt}$  deve satisfazer a restrição de exclusão, ou seja, não ser correlacionado com o termo de erro da Equação (2.2), isto é,  $cov(VP_{jt}, \epsilon_{it}) = 0$ . De acordo com Moretti e Neidell (2011) há três características que torna o nível de atividade portuárias como um instrumento atraente. Primeiro, o tráfego de navios representa uma importante fonte de variação de poluição. Segundo, a variação diária no tráfego de navios não está correlacionada com outros determinantes de saúde de curto prazo. Geralmente, a maioria dos navios vem do exterior, e fatores como a longa duração da viagem e as condições imprevisíveis no mar tornam difícil prever a data exata da chegada e partida<sup>9</sup>. Portanto, a poluição devido à atividade portuária é indiscutivelmente um evento determinado aleatoriamente e não correlacionado com fatores relacionados a saúde. Terceiro, os moradores locais normalmente não observam o tráfego de navios. No seu comportamento de evitação, os indivíduos possivelmente não levam em consideração o movimento nos portos.

Sobre a velocidade do vento, uma literatura recente utiliza este como determinante do nível de poluição, por exemplo, Deryugina *et al.* (2019); e Guidetti *et al.* (2020). A premissa é que o vento dissipa a poluição, reduzindo as concentrações de PM10 próxima do porto e levando-a para bairros

---

<sup>9</sup> Na amostra, 53,6 das atracções tinham como origem países estrangeiros, os principais foram China, USA, Índia e Argentina.

mais afastados. Além disso, velocidade do vento mais altas podem influenciar a necessidade de empuxo do motor do navio e a taxa de emissões de poluentes (Gillingham e Huang (2021)).

### 3.4. Validação do Instrumento

Para corroborar a validade do instrumento, foram utilizadas as condições climáticas em torno do porto e defasagem da variável de resultado. Ou seja, foi executada uma regressão das variáveis climáticas ( $X$ ) e da variável dependente defasada ( $VP_{jt-1}$ ) com efeito fixo de tempo sobre o nível de atividade portuária ( $VP_{jt}$ ), conforme a seguinte expressão:

$$VP_{jt} = \alpha + \sum_{i=1}^5 \beta VP_{jt-i} + \theta X_{it} + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

A hipótese é que as condições climáticas interferem no volume de movimentação portuária, conseqüentemente impactando o nível de poluição. A hipótese que envolve a variável de resultado defasada baseia-se no fato de que o volume observado anteriormente não determina o observado no presente ou futuro. Essas teorias reforçam o pressuposto de que a medida de atividade portuária ( $VP_{jt}$ ) é definida quase aleatoriamente, configurando um instrumento válido. Assim, os indivíduos não conseguiriam tomar suas decisões de evitar a poluição levando em consideração o tráfego nos portos.

## 4. Resultados

### 4.1. Primeiro estágio

A evidência da relação causal entre nível de atividade portuária e a poluição do ar, o parâmetro  $\beta_1$  da Equação 1, é demonstrada na Tabela 3. Para  $VP$ , foi utilizado o nível diário de tonelage no porto. A estatística F do primeiro estágio apresentou um valor significativamente elevado, atingindo o valor de 1367,89. Assim, rejeita-se a hipótese de instrumento fraco, na qual uma estatística abaixo de 10 é apontado como um instrumento fraco *e.g* ANDREWS *et al.* (2019)).

Espera-se uma relação positiva entre PM10 e o volume de atividade portuária. Quanto maior for a quantidade movimentada, maior tende a ser a poluição nas imediações do porto. Os resultados encontrados mostram um efeito significativo das toneladas nas concentrações de PM10, consistente com o esperado. Indicam que um aumento de 1 % na tonelage no porto em um dia resulta em um aumento de  $0,2185 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nas concentrações diárias de PM10. Além disso, os resultados permitem inferir que um fator preponderante no nível de poluição portuária são as operações de manuseios de cargas e mercadorias nas adjacências.

Tabela3: Impacto da atividade portuária sobre PM10.	
	Variável dependente: PM10
Log (tonelage)	0,2185*** (0,0094)
Velocidade do vento	-1,1349*** (0,0241)
Estatística F	1367,89
Observações	854200
EF Ano-Bairros	Sim
EF dia da semana	Sim
Controles	Sim

Notas: A tabela apresenta o resultado do primeiro estágio, a regressão do nível de atividade portuária (log da tonelada) sobre a concentração de PM10. Foi utilizado efeito fixo de Ano-Bairro e dia da semana. A especificação possui controles climáticos, incluindo a forma quadrática de precipitação, temperatura mínima e máxima. As estatísticas F refere-se ao teste de significância do instrumento. Entre parênteses são os erros padrão. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1%, \*\*5% e \*10%.

## 4.2. Segundo estágio

No segundo estágio, o foco é analisar os efeitos da poluição do ar na saúde. Primeiramente, a Tabela 4 apresenta os resultados da estimação por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) no painel A, demonstrando a existência de uma relação estatisticamente significativa entre a concentração de PM10 e probabilidade de internação por doenças respiratórias para todos os grupos. Um aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10 está associado a um pequeno aumento na probabilidade de internação, cerca de 0,002% para bebês, crianças e idosos.

Tabela 4: Impacto de poluição sobre a probabilidade de internação.

	<b>Variável dependente: dummy de internação</b>		
	<b>Bebês (0-11 meses)</b>	<b>Crianças (1-5 anos)</b>	<b>Idosos</b>
<b>Painel A - MQO</b>			
PM10	0,0022** (0,0010)	0,0028*** (0,0011)	0,0024* (0,0013)
R ajustado	0,0210	0,0178	0,0279
<b>Painel B – 2SLS (instrumento: Log de tonelagem +VV)</b>			
PM10	0,1232*** (0,0192)	0,0233 (0,0205)	0,0510** (0,0230)
Estatística F	1367,89	1367,89	1367,89
Média da Var. dep.	0,778	0,891	1,143
Observações	854200	854200	854200
EF Ano-Bairros	Sim	Sim	Sim
EF dia da semana	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela apresenta o resultado de PM10 sobre a probabilidade de hospitalização por grupo. A variável dependente foi multiplicada por 100, indicando a probabilidade de internação decorrente da exposição contemporânea à poluição. Foi utilizado efeito fixo de Ano-Bairro e dia da semana. A especificação possui controles climáticos, incluindo a forma quadrática de precipitação, temperatura mínima e máxima. Entre parênteses são os erros padrão robusto. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1 %, \*\*5 % e \*10 %.

Posteriormente, o painel B exibe as estimativas da Equação 2 utilizando mínimos quadrados em dois estágios para cada grupo. Na qual instrumentalizou-se a poluição utilizando nível de tonelagem diária no porto e a velocidade do vento. Cada estimativa representa uma regressão individual. O resultado mostra o efeito do aumento nas concentrações de PM10 sobre a probabilidade de internações por causas respiratórias.

Em comparação com as estimativas de MQO, os coeficientes das estimações IV são bem mais elevados. Apesar dos resultados de MQO serem significativos, eles possuem algum viés negativo. O viés pode ser de atenuação e/ou de variável omitida. O viés de atenuação é uma consequência natural da representação da exposição à poluição utilizando dados de monitoramento. O segundo viés pode decorrer do comportamento de evitação, que para crianças pode ser mais forte, pois geralmente tendem a interromper atividades ao ar livre nos dias mais poluídos Guidetti *et al.* (2020).

Quando utiliza-se instrumentos para a poluição, obtivemos efeitos significativos para bebês e idosos. Um aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10 aumenta a probabilidade de internações de bebês por motivos respiratórios em 0,12%, enquanto a probabilidade de internação de idosos é um pouco menor, cerca de 0,05 %. Isso significa que o aumento de 1% na tonelagem média eleva probabilidade de internações de bebês em cerca de 0,027 % e de idosos em torno de 0,011%.

Como estamos usando probabilidade de hospitalizações, fica difícil comparar a dimensão dos resultados encontrados com os reportados por Moretti e Neidell (2011) e Gillingham e Huang (2021), mas os achados deste estudo são similares aos dos autores. No geral, os efeitos da poluição atmosférica sobre hospitalizações relacionados ao aparelho respiratório são positivos, e os coeficientes são

maiores quando utilizaram instrumentos para poluentes, como os obtidos nesses estudos Deryugina *et al.* (2019), Moretti e Neidell (2011); Guidetti *et al.* (2020), Sant'Anna e Rocha (2020).

### 4.3. Defasagem de PM10

Como pode haver efeitos retardados e acumulativos da poluição atmosférica, acrescentou-se ao modelo uma defasagem de poluição. Os resultados do primeiro estágio estão na Tabela 5 e do segundo estágio na Tabela 6. No primeiro estágio, podemos observar que há um efeito acumulativo da atividade portuária sobre o PM10, no entanto, o impacto contemporâneo é mais elevado.

Tabela 5: Primeiro estágio - defasagem de PM10

	$PM10_t$	$PM10_{t-1}$
$Log Ton_t$	0,1998*** (0,0095)	0,1372*** (0,0102)
$Log Ton_{t-1}$	0,1026*** (0,0094)	0,2353*** (0,0101)
$VV_t$	-1,4920*** (0,0298)	0,2656*** (0,0319)
$VV_{t-1}$	0,5457*** (0,0292)	-0,6657*** (0,0313)
Estatística F	797,84	303,34
Observações	850480	850480
EF Ano-Bairros	Sim	Sim
EF dia da semana	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim

Notas: A tabela mostra o resultado do primeiro estágio com uma defasagem de PM10. A estatística F refere-se ao teste de significância conjunta dos instrumentos. Entre parênteses estão os erros padrão robustos. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1%, \*\*5% e \*10%.

No segundo estágio, a análise vai além do efeito acumulativo. Podemos pensar que o tempo que leva à internação pode variar de acordo com a gravidade e preocupação dos pais. A ida ao hospital pode ocorrer nos primeiros sintomas ou pode ser depois de alguns dias, influenciando nos resultados contemporâneos. Observando nossos resultados, destacamos que a soma dos coeficientes aumenta apenas para crianças. Particularmente para elas, não foi registrado efeito da poluição contemporânea sobre a probabilidade de internação, mas a poluição defasada impacta positivamente e significativa, o contrário ocorre com os outros dois grupos. No caso das crianças, possivelmente, os pais tentam combater os sintomas com remédios em casa. Se não solucionam, procuram o hospital, atrasando assim a visita, piorando a doença, podendo resultar em período maior de internação.

Tabela 6: Segundo estágio - defasagem de PM10.

	<b>Bebês</b>	<b>Crianças</b>	<b>Idosos</b>
$PM10_t$	0,0870*** (0,0182)	0,0031 (0,0193)	0,0258 (0,0217)
$PM10_{t-1}$	0,0405 (0,0275)	0,0577** (0,0293)	0,0239 (0,0329)
Acumulado	0,1275	0,0608	0,0497
Observações	850480	850480	850480
EF Ano-Bairros	Sim	Sim	Sim
EF dia da semana	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela mostra o resultado do segundo estágio com uma defasagem de PM10. Entre parênteses estão os erros padrão robustos. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1%, \*\*5% e \*10%.

#### 4.4. Robustez

Na robustez foi testado diferentes configurações dos possíveis instrumentos para poluição, número de atracções de navios no porto, tonelagem e velocidade do vento. Os novos resultados são apresentados nas Tabelas 7 (1º estágio) e 8 (2º estágio). No primeiro estágio, os efeitos da atividade portuária sobre a poluição são todos significativamente positivos, com diferentes magnitudes, e não há diferenças nos efeitos quando se utiliza a velocidade do vento. Uma novidade encontrada é que, em média, a presença de um navio adicional no porto aumenta o nível de PM10 em  $0,0007 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ademais, como esperado, a velocidade do vento tende a diminuir a concentração de poluentes.

Tabela 7: Impacto da atividade portuária e velocidade do vento sobre poluição, diferentes configurações dos instrumentos.

<b>Variável dependente: PM10</b>	
<b>Painel A – N° navios + VV</b>	
Navios	0,0007*** (0,0002)
Velocidade do vento	-1,1261*** (0,0241)
Estatística F	1099,53
<b>Painel B – Log (ton)</b>	
Toneladas	0,2121*** (0,0094)
Estatística F	512,70
<b>Painel C – N° de navios</b>	
Navios	0,0007*** (0,0002)
Estatística F	12,37
<b>Painel D– Velocidade do Vento</b>	
VV	-1,1276*** (0,0240)
Estatística F	2205,32
EF Ano-Bairros	Sim
EF dia da semana	Sim
Controles	Sim

Notas: A tabela apresenta o resultado do primeiro estágio, utilizando como instrumento para a poluição atividade portuária e velocidade do vento. Em ambos painéis, foi utilizado efeito fixo de Ano-Bairro e dia da semana. Ambas especificações possuem controles climáticos, incluindo a forma quadrática de precipitação, temperatura mínima e máxima. Entre parênteses são os erros padrão robusto. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1%, \*\*5% e \*10%.

No segundo estágio, os resultados são compatíveis com o achado principal. Quando utilizamos o volume de toneladas, controlar pela velocidade do vento torna maior a probabilidade de hospitalizações de bebês e idosos por doenças respiratórias. Quando o instrumento foi atracções de navios no porto, adicionar a velocidade do vento diminui a magnitude da probabilidade de internações de bebês, mas ainda é positiva e significativa. Para idosos, há um aumento da probabilidade de hospitalização. Comparando os resultados, percebe-se que acrescentar a velocidade do vento no primeiro estágio aparentemente torna as estimativas mais robustas.

Fazendo uma comparação entre os dois instrumentos para a poluição (coluna 1 da Tabela 8 e Painel B da Tabela 8), temos que o impacto nas internações devido aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no PM10 decorrentes do número de atracções ou de tonelagem é semelhante. Na coluna 1 da Tabela 8, o resultado mostra que  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a mais na concentração média de PM10 eleva a probabilidade de internações de bebês em 0,13% e de idosos em 0,05%. Isso quer dizer que um navio adicional no porto aumenta a probabilidade de hospitalizações em 0,0001% e 0,00004% para bebês e idosos, respectivamente.

Além disso, considerando os dois instrumentos para atividade portuária, que representam duas medidas diferentes, podemos pensar em um impacto conjunto. Quando um navio adicional atraca no porto, ele aumenta o nível de poluição, assim como um aumento do volume de toneladas. Se isso ocorre simultaneamente, o impacto nas concentrações de poluentes é maior, uma vez que temos um navio adicional emitindo poluentes e a movimentação de carga desse navio contribuindo para a poluição.

Tabela 8: Impacto da poluição sobre internações com diferentes instrumentos.

<b>Variável dependente: dummy de internação</b>				
Instrumentos	Nº de navios +VV	Toneladas	Nº de navios	VV
Painel A – Bebês (0-11 meses)				
PM10	0,1346*** (0,0215)	0,0852* (0,0442)	0,5834* (0,3284)	0,1309*** (0,0215)
Painel B – Crianças (1-5 anos)				
PM10	0,0254 (0,0228)	0,0189 (0,0472)	0,2215 (0,3101)	0,0235 (0,0228)
Painel C - Idosos				
PM10	0,0548** (0,0257)	0,0323 (0,0531)	-0,0604 (0,3422)	0,0558** (0,0256)
Estatística F	1099,53	512,70	12,37	2205,32
Observações	854200	854200	854200	854200
EF Ano-Bairros	Sim	Sim	Sim	Sim
EF dia da semana	Sim	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela apresenta o resultado de PM10 sobre a probabilidade de hospitalização por grupo. A variável dependente foi multiplicada por 100, indicando a probabilidade de internação decorrente da exposição contemporânea à poluição. Em ambos painéis foi utilizado efeito fixo de Ano-Bairro e dia da semana. Ambas especificações possuem controles climáticos, incluindo a forma quadrática de precipitação, temperatura mínima e máxima. Entre parênteses são os erros padrão robusto. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1%, \*\*5% e \*10%.

#### 4.5. Heterogeneidade

Para reforçar nossos achados, realizou-se uma análise de impacto da probabilidade de internação por porto. Foi inserida uma dummy interagindo com PM10 na especificação principal. Para porto ( $P_{it}$ \*PortoSP), valor 1 indica porto de Santos e 0 porto de Vitória, tornando o segundo estágio igual a:

$$Hosp_{it} = \gamma + \beta_1 P_{it} + \beta_2 P_{it} + \theta X_{it} + \delta_t + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (4)$$

Nessa especificação,  $\beta_2$  mede a diferença do efeito das atividades portuária do Complexo portuário de Santos e Vitória na probabilidade de internação por causas respiratórias da população nos seus entornos.  $\beta_1$  mede o impacto do Complexo portuário de Vitória na probabilidade de internação e  $\beta_1 + \beta_2$  mede o impacto do complexo portuário de Santos sobre a probabilidade de hospitalizações. A Tabela 9 apresenta os novos resultados do segundo estágio. Há diferenças estatisticamente significativas no impacto da atividade portuária na probabilidade de internações de bebês entre os dois portos. Aparentemente, o porto de Santos causa maiores prejuízos à saúde de bebês em comparação ao porto de Vitória. O aumento de 1% nas concentrações de PM10 aumenta a probabilidade de internações de bebês na região do porto de Vitória em cerca de 0,05%, enquanto na região do porto de Santos, a probabilidade é de aproximadamente 0,12%. Para crianças e idosos, não foram encontradas diferenças significativas na probabilidade de hospitalização entre os dois portos.

Tabela 9: Impacto de PM10 sobre a probabilidade de internação por porto.

	<b>Variável dependente: dummy de internação</b>		
	<b>Bebês (0-11 meses)</b>	<b>Crianças (1-5 anos)</b>	<b>Idosos</b>
PM10	0,0521*** (0,0159)	0,0120 (0,0170)	-0,0090 (0,0191)
PM10*PortoSP	0,0728*** (0,0145)	0,0064 (0,0155)	0,0268 (0,0175)
Estatística F	9139,06	9139,06	9139,06
Observações	854200	854200	854200
EF Ano-Bairros	Sim	Sim	Sim
EF dia da semana	Sim	Sim	Sim
Controles	Sim	Sim	Sim

Notas: A tabela mostra o resultado do impacto de PM10 sobre a probabilidade de internação por porto utilizando como determinantes da poluição log de tonelagem e a velocidade do vento. A variável dependente foi multiplicada por 100. Foi inserido na especificação efeito fixo de ano-bairro e dia da semana e controles climáticos, incluindo a forma quadrática de precipitação, temperatura mínima e máxima. As estatísticas F refere-se ao teste de significância do instrumento. Entre parênteses são os erros padrão. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1%, \*\*5% e \*10%.

#### 4.6. Validade do instrumento

Para demonstrar que os instrumentos de atividade portuária são exógenos, executou-se o modelo da Equação 3, em que foram utilizadas defasagens da variável dependente e variáveis climáticas. A Tabela 10 traz esse resultado. Na primeira e na terceira coluna, são utilizadas defasagens da variável de resultado, enquanto na segunda e na quarta coluna, a especificação incluiu apenas as climáticas como explicativas. É possível observar que o nível de toneladas e o número de barcos de hoje parecem não prever o de amanhã, apresentando coeficientes estatisticamente insignificantes.

Além disso, é possível notar que fatores totalmente exógenos, como os climáticos, afetam a tonelagem e o número de atracções nos portos, como no caso da radiação solar, da temperatura e, principalmente, da precipitação. Esses resultados indicam que a atividade portuária se assemelha a um caminho quase aleatório, semelhante ao encontrado por Moretti e Neidell (2011).

Deste modo, os instrumentos podem ser considerados válidos. Embora as pessoas possam notar a variação na concentração de poluição, elas não conseguem elaborar um comportamento de evitação olhando para o nível de atividade portuária.

Tabela 10: Resultado da aleatoriedade da atividade portuária.

	Variável dependente			
	Toneladas/1000		Nº de navios	
$VP_{jt-1}$	0,0035 (0,0196)		-0,0004 (0,0162)	
$VP_{jt-2}$	0,0161 (0,0196)		0,1670*** (0,0163)	
$VP_{jt-3}$	0,0032 (0,0198)		0,1484*** (0,0164)	
$VP_{jt-4}$	0,0458** (0,0196)		0,1869*** (0,0158)	
$VP_{jt-5}$	0,0206 (0,0206)		0,2101*** (0,0167)	
Radiação Solar	-0,5413 (3,8783)	-1,0637 (3,8329)	-0,6368 (1,1295)	-3,2945*** (1,2315)
Velocidade do Vento	23,6730 (46,9753)	20,3738 (46,5474)	15,3953 (12,4934)	12,625 (13,9348)
Temp. máxima	24,9775** (11,5093)	23,0444** (11,4937)	1,9227 (4,0216)	-6,0564 (4,3261)
Temp. mínima	7,8975 (13,1526)	13,4983 (13,1450)	-2,8446 (4,5728)	-9,8070** (4,7647)
Umidade Relativa	-6,0715 (5,7628)	-5,3388 (5,7514)	-0,2212 (1,9081)	2,9212 (2,1394)
Precipitação	-1,4494*** (0,4746)	-1,5495*** (0,4735)	0,1694 (0,1644)	0,9964*** (0,1949)
Observações	3592	3592	3592	3592
Defasagens	Sim	Não	Sim	Não
EF de tempo	Sim	Sim	Sim	Sim
R <sup>2</sup> ajustado	0,0496	0,0490	0,1885	0,3599

Notas: A tabela apresenta o resultado da Equação 3, na qual executou-se a regressão do nível de atividade portuária com defasagem e variáveis climáticas para mostrar que o instrumento é determinado aleatoriamente. Em ambas, foi utilizado efeito fixo de tempo (ano, mês e dia da semana) e forma quadrática dos controles climáticos. Entre parênteses são os erros padrão robusto. O nível de significância é indicado por: \*\*\*1%, \*\*5% e \*10%.

## 5. Considerações Finais

Os poluentes atmosféricos impactam na saúde da população e são provenientes de várias fontes. Neste ensaio, analisou-se a poluição decorrente de portos e seus efeitos nas internações dos residentes de cidades portuárias. Foi proposto um modelo de dois estágios, na qual no primeiro estágio buscava-se observar a relação entre a atividade portuária e concentração de PM10. No segundo estágio, o foco foi verificar os impactos da poluição na saúde.

Os resultados mostram que a combinação de nível de atividade portuária, aumento na tonelage e atracação adicional de navios eleva as concentrações de PM10 nas áreas próximas aos portos, consequentemente aumentando a probabilidade de hospitalizações por doenças respiratórias em grupos mais vulneráveis (bebês, crianças e idosos). Ressalta que quanto maior o volume de movimentação portuária, maior a probabilidade de causar consequências negativas na saúde da população suas proximidades.

Este é o primeiro estudo empírico para portos brasileiros com essa temática. Além de contribuir para a literatura, fornecemos evidências do impacto da poluição decorrente de atividade portuária na saúde, identificando passivos ambientais relacionados aos portos. Essas evidências nos permitem considerar

a possibilidade de tornar os portos mais sustentáveis, proporcionando ar mais limpo e, assim, mitigando os impactos negativos na sociedade. Políticas que visem reduzir as emissões de navios, por exemplo, podem beneficiar a população que vive ao redor dos terminais e causar menos impacto ao clima.

Nossos resultados possuem algumas limitações. Não foi possível incluir mais portos no estudo devido ao fato de que outras cidades brasileiras portuárias não possuem monitores que coletam informações sobre qualidade do ar. Além disso, as cidades analisadas possuem poucos monitores e a frequência de coleta de dados para outros poluentes é baixa, o que nos permitiu realizar análises apenas para um tipo de poluente.

## Referências

ABRANTES, P.; BARELLA, W. Análise do IDA - Índice de Desempenho Ambiental como ferramenta para aprimoramento da gestão ambiental portuária no Brasil. **UNISANTA Bioscience**, v. 8, n. 3, p. 282-298, 2019.

ANDREWS, I.; STOCK, J.; SUN, L. Weak Instruments in Instrumental Variables Regression: Theory and Practice. **Annual Review of Economics**, v. 11, n. 1, p. 727-753, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Disponível em <http://ea.antaq.gov.br/>. Acessado em 7 de março de 2023.

ARROYO, V.; DÍAZ, J.; ORTIZ, C.; CARMONA, R.; SÁEZ, M.; LINARES, C. Short term effect of air pollution, noise and heat waves on preterm births in Madrid (Spain). **Environmental Research**, v. 145, p. 162-168, 2016.

BAILEY, D.; SOLOMON, G. Pollution prevention at ports: clearing the air. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 24, p. 749-774, 2004.

BREWER, T. L. Black carbon and other air pollutants in Italian Ports and coastal areas: problems, solutions and implications for policies. **Applied Sciences**, v. 10, 2020.

CURRIE, J.; NEIDELL, M.; SCHMIEDER, J. F. Air pollution and infant health: lessons from New Jersey. **Journal of Health Economics**, v.28, p. 688-703, 2009.

DERYUGINA, T.; HEUTEL, G.; MILLER, N.; MOLITOR, D.; REIF, J. The Mortality And Medical Costs Of Air Pollution: Evidence From Changes In Wind Direction. **American Economic Review**, v.109, n. 12, 2019.

GIRARD, L. F.; NOCCA, F. Climate change and health impacts in urban areas: towards hybrid evaluation tools for new governance. **Atmosphere**, v.11, n. 1344, 2020.

GILLINGHAM, K.; HUANG, P. Racial disparities in the health effects from air pollution: evidence from ports. **NBER Working Paper**, n. 29108, 2021.

GOUVEIA, N.; FREITAS, C. U.; MARTINS, L. C.; MARCILIO, I. O. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, v.22, n. 12, p. 2669-2677, 2006.

GUIDETTI, B.; PEREDA, P.; SEVERNINI, E. Health shocks under hospital capacity constraint: evidence from air pollution in Sao Paulo, Brazil. **Institute of Labor Economics, IZA**, Discussion paper series, n. 13211, 2020.

HE, J.; GOUVEIA, N.; SALVO, A. External effects of diesel trucks circulating inside the São Paulo megacity. **Journal of the European Economic Association**, v. 17, 2018.

HEO, S. W.; ITO, K.; KOTAMARTHI, R. International spillover effects of air pollution: evidence from mortality and health data. **NBER working Paper**, n. 30830, 2023.

JACOBSON, L. S. V.; OLIVEIRA, B. F. A.; SCNEIDER, R.; GASPARRINI, A. HACION, S. S. Mortality risk from respiratory diseases due to non-optimal temperature among Brazilian elderlies. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, 2021.

KNITTEL, C. R.; MILLER, D. L.; SANDERS, N. J. Caution, drivers! Children present: Traffic, pollution and infant health. **The Review of Economics and Statistics**, v. 98, n. 2, p. 350-366, 2016.

LIMA, T. A. C.; NASCIMENTO, L. F. C.; MEDEIROS, A. P. P.; SANTOS, V. P. Association between maternal exposure to particulate matter and premature birth. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n.1, p. 27-36, 2014.

LLOYD'S LIST. One hundred ports 2022. Disponível em <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/one-hundred-container-ports-2022>. Acessado em 7 de março de 2022.

MORAES, S. L.; ALMENDRA, R.; SANTANA, P.; GALVANI, E. Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com internações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. **Cadernos de saúde pública**, v. 35(7), 2019.

MACHADO-SILVA, F.; LIBONATI, R.; LIMA, T. F. M.; PEIXOTO, R. B.; FRANÇA, J. R. A.; MAGALHÃES, M. A. F. M.; SANTOS, F. L. M.; RODRIGUES, J. A.; DACAMARA, C. C. Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. **Ecological Indicators**, v. 109, 2020.

MORETTI, E.; NEIDELL, M. Pollution, health, and avoidance behavior: evidence from the Ports of Los Angeles. **The Journal of Human Resources**, v. 46(1), p. 154-175, 2011.

MUELLER, N.; WESTERBY, M.; NIEUWENHUIJSEN, M. Health impact assessments of shipping and port-sourced air pollution on a global scale: A scoping literature review. **Environmental Research**, v. 216, n. 114460, 2023.

NOTTEBOOM, T.; PALLIS, A.; RODRIGUE, JP. **Port economics, management, policy**. 1ª edição, Routledge, 2022.

RANGEL, M. A.; VOGL, T. S. Agricultural fires and health at birth. **The Review of Economics and Statistics**, v. 101, n. 4, p. 616-630, 2019.

RIBEIRO, A. G.; DOWNWARD, G. S.; FREITAS, C. U.; NETO, F. C.; CARDOSO, M. R. A.; LATORRE, M. R. D. O.; HYSTAD, P.; ERMEULEN, R.; NARDOCCI, A. C. Incidence and mortality for respiratory cancer and traffic-related air pollution in São Paulo, Brazil. **Environmental Research**, v. 170, p. 243-251, 2019.

SANT'ANNA, A. A.; ROCHA, R. Impactos dos incêndios relacionados ao desmatamento na Amazônia brasileira sobre saúde. **Instituto de Estudos para Políticas de Saúde**, Nota técnica n. 11, 2020.

SANTOS, V. P.; PENELUPPI, A. P. P.; LIMA, T. A. C.; NASCIMENTO, L. F, C. The effect of air pollutants on birth weight in medium-sized towns in the state of São Paulo. **Revista Paulista de Pediatria**, v.32, n. 4, p. 306-312, 2014.

SCHLENKER, W.; WALKER, W. R. Airports, air pollution, and contemporaneous health. **The Review of Economic Studies**, v, 83, n. 2, p. 768-809, 2016.

SCHWARTZ, J. Air pollution and children's health. **Pediatrics**, v.1113, n. 4, p. 1036-1043, 2004.

TRASANDE, L.; MALECHA, P.; ATTINA, T. M. Particulate matter exposure and preterm birth: estimates of U. S. attributable burden and economic costs. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, n. 12, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines**, Global update 2005, 2006a.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Quality Guidelines:Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide**. World Health Organization, 2006b.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. L. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961-2020). **International Journal of Climatology**, p. 1-15, 2022.