



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Robson Will

**Influência social, meteorológica e da poluição atmosférica na hospitalização por doenças cardiorrespiratórias: um estudo de caso no sul do Brasil**

Florianópolis

2021

Robson Will

**Influência social, meteorológica e da poluição atmosférica na hospitalização  
cardiorrespiratória: um estudo de caso no sul do Brasil**

Dissertação/Tese submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de  
mestre em engenharia ambiental

Orientador: Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.

Coorientadora: Prof. Marina Hirota, Dr.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Will, Robson

Influência social, meteorológica e da poluição  
atmosférica na hospitalização cardiorrespiratória: : um  
estudo de caso no sul do Brasil / Robson Will ;  
orientador, Leonardo Hoinaski, coorientadora, Marina  
Hirota, 2021.

72 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Cardiorrespiratório. 3.  
Poluentes atmosféricos. 4. Meteorologia. 5. Condições  
sociais. I. Hoinaski, Leonardo. II. Hirota, Marina . III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Robson Will

**Influência social, meteorológica e da poluição atmosférica na hospitalização por doenças cardiorrespiratórias: um estudo de caso no sul do Brasil.**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Ramon Cruz, Dr.

DEF/UFSC

Prof. Davide Franco, Dr.

ENS/UFSC

Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.

ENS/UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2021.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao povo brasileiros, que através dos seus impostos financiaram esse trabalho. Agradeço ao sistema universitário e científico pela formação até esse momento é que me permitiu ter conhecimento para construí-lo.

Agradeço ao meu querido orientador e minha estimada orientadora por dividir o conhecimento e o amor pelo saber. Todos os seus conselhos foram ouvidos e estarão comigo sempre.

Agradeço as minhas colegas e meus colegas de laboratório, que dividem comigo a paixão pelo meio ambiente e ciência. E que todos os dias se dedicam nesse ardo caminho.

Agradeço aos meus amigos, que mesmo distantes me apoiaram e me deram forças quando tudo parecia não fazer mais sentido. Obrigado por dividir comigo risadas, quadrinhos, reality shows, doces e fofocas.

Agradeço a minha companheira Débora por me fazer descobrir a importância de tomar água e dormir bem, por todo o amor e atenção dedicados a mim, por toda a paciência com minhas crises e reclamações. E por dividir sua família comigo, eles são fantásticos o tempo todo.

Por fim agradeço a minha família, especialmente na figura da minha mãe, Isabel, que mesmo com pouco acesso a educação formal me mostrou a importância da educação e nunca polpou esforço para que eu seguisse meus sonhos.

Esse trabalho foi construído durante um período terrível para a humanidade, durante o ano de 2020 onde uma pandemia atingiu pessoas em todo o globo e com especial força o Brasil. Dessa forma todo o esforço de aprender a fazer ciência enquanto construí esse trabalho foi dividido com as angústias da ausência de muitas pessoas que tornaram esse trabalho possível. Fica clara a importância da ciência de qualidade, livre e publica. Agradeço por fim a todos que constituem os movimentos sociais e de resistência. A todos que lutam por saúde e educação para todos.



## RESUMO

O Sul do Brasil sofre com as maiores taxas de internação por doenças cardiorrespiratórias no Brasil. Essas doenças têm relação com fatores ambientais como poluição atmosférica e condições meteorológicas, além da vulnerabilidade social. Porém o estudo dessas causas sobre a morbidade na região sul esbarra na falta de dados em escala adequada. Neste trabalho foi analisada a influência da poluição atmosférica, da meteorologia e das condições socioeconômicas sobre a morbidade hospitalar gerada por doenças cardiovasculares e respiratórias no estado de Santa Catarina no sul do Brasil. Utilizou-se para isso uma metodologia que envolve quatro fontes de dados: (i) densidade média de poluentes na coluna de ar troposférico TROPOMI do satélite Sentinel-5p; (ii) A saída do modelo meteorológico WRF contendo temperatura, umidade específica do ar e altura da camada limite planetária; (iii) dados de morbidade hospitalar por doenças cardiovasculares e respiratórias obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde; (iv) índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) como dado de vulnerabilidade. O efeito dos poluentes e dos fatores meteorológicos foram analisados agrupando municípios por nível de desenvolvimento socioeconômico semelhante. Os resultados obtidos mostram que as hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias são inversamente correlacionadas com a altura da camada limite, temperatura e umidade em Santa Catarina. Em relação aos poluentes, somente SO<sub>2</sub> apresentou correlação com as doenças cardiovasculares e respiratórias, especialmente em cidades com índice de desenvolvimento humano alto ou muito alto. Apesar de apresentar maior densidade média de poluentes, os municípios desenvolvidos são menos propensos à morbidade hospitalar cardiorrespiratória. Esses resultados evidenciam que a vulnerabilidade social é um dos principais fatores de controle sobre as internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias.

**Palavras-chave:** Cardiorrespiratório. Poluentes atmosféricos. Meteorologia. Condições sociais. TROPOMI, Sentinel.

## ABSTRACT

Southern Brazil suffers from the highest rates of hospitalization for cardiorespiratory diseases in Brazil. These diseases are related to environmental factors such as air pollution and weather conditions, in addition to social vulnerability. However, the study of these mechanisms on morbidities in the southern region comes up against the lack of data on an adequate scale. In this work, the influence of air pollution, meteorology, and socioeconomic conditions on hospital morbidity caused by cardiovascular and respiratory diseases in the state of Santa Catarina in southern Brazil was analyzed. We combine four main sources of data: (i) average density of pollutants in the TROPOMI tropospheric air column of the Sentinel-5p satellite; (ii) temperature, humidity, and Planetary Boundary Layer Height (PBLH) modeled with Weather Research Model; (iii) hospitalization by cardiorespiratory diseases was obtained from the Department of Informatics from Brazilian National Health System; (iv) and municipal human development index as socioeconomic data. The effect of air pollution and meteorological conditions was analyzed for groups of municipalities with a similar level of socioeconomic development. Our results show that, cardiorespiratory hospitalization is inversely correlated with PBLH, temperature, and humidity in southern Brazil. There is only a weak positive correlation between SO<sub>2</sub> concentration and cardiorespiratory disease, especially in well-developed municipalities. Despite being more polluted, developed municipalities are less prone to cardiorespiratory morbidity. These findings corroborate the mounting evidence that social vulnerability is a major key to the increase of cardiorespiratory hospitalization.

**Keywords:** Cardiorespiratory. Air pollutants. Meteorology. Social conditions. TROPOMI, Sentinel.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos componentes do estado de saúde humana: <i>habitat</i> , comportamento e populacional.....	19
Figura 2 – Diagrama do Impacto a saúde e ao bem-estar gerados pela combinação de vulnerabilidade e exposição a riscos ambientais. ....	22
Figura 3 - Distribuição da morbidade hospitalar por doenças cardiovasculares (DCV) (esquerda) e do sistema respiratório (DSR) (direita).....	28
Figura 4 – Localização geográfica do estado de Santa Catarina com altimetria e mesorregiões do estado.1) Grande Florianópolis, 2) Vale do Itajaí, 3) Norte catarinense, 4) Oeste catarinense, 5) Serrana, 6) Sul catarinense. ....	29
Figura 5 – Distribuição do IDHM nos municípios de Santa Catarina. IDH-m ( $0,6 < \text{IDH} < 0,7$ ), IDH-a ( $0,7 < \text{IDH} < 0,8$ ), IDH-ma ( $\text{IDH} > 0,8$ ).....	33
Figura 6- Domínios de modelagem utilizados no WRF. d01 – externa e d02-interna .....	34
Figura 7 – Distribuição da taxa de morbidade hospitalar por (a) DSR e (b) DCV nos municípios de Santa Catarina no ano de 2019. ver - verão, out - outono, inv - inverno, pri - primavera.....	39
Figura 8 – Distribuição da média e boxplots de a) T - temperatura, b) Q - umidade específica, c) ACLP - altura da camada limite planetária para os Municípios Catarinense em 2019. ver - verão, out - outono, inv - inverno, pri - primavera.....	40
Figura 9 – Distribuição espacial da média do percentil 90 e boxplot de a) Aerossol, b) CO, c) O <sub>3</sub> d) SO <sub>2</sub> e e) NO <sub>2</sub> para os Municípios Catarinenses em 2019. ver - verão, out - outono, inv - inverno, pri - primavera.....	41
Figura 10 – Boxplot da morbidade por DSR (esquerda) e DCV (direita) em Santa Catarina por grupo de IDHM em 2019. IDH-m ( $0,6 < \text{IDH} < 0,7$ ), IDH-a ( $0,7 < \text{IDH} < 0,8$ ), IDH-ma ( $\text{IDH} > 0,8$ ). (a) apresenta diferença significativa em relação a IDH-a, (b) apresenta diferença significativa em relação a IDH-ma. (nível de significância $p < 0,05$ ). ....	42
Figura 11 - Boxplot da densidade média dos poluentes atmosféricos (CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Aerossol) e grupos de IDHM. IDH-m ( $0,6 < \text{IDH} < 0,7$ ), IDH-a ( $0,7 < \text{IDH} < 0,8$ ), IDH-ma ( $\text{IDH} > 0,8$ ) no ano de 2019.....	43
Figura 12 – Mosaico da mediana das taxas de morbidade hospitalar por DSR e DCV. Agrupamentos por faixas de percentil dos parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade	

específica Altura da camada limite). Percentil), percentil de densidade média dos poluentes atmosféricos (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Aerossol) e grupos de IDHM. IDH-m (0,6<IDH<0,7), IDH-a (0,7<IDH<0,8), IDH-ma (IDH>0,8)..... 44

Figura 13 - Matriz de correlação médias anuais de doença cardiovascular (DCV), doença do sistema respiratório (DSR), temperatura (T), umidade específica (Q), altura da camada limite planetária (ACLPL) e concentração de poluentes atmosféricos de CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e ARSL. Números em cinza não apresentam significância estatística. Tons de azul apresentam correlações negativas, tons de vermelho representam correlações positivas. .... 45

Figura 14 - Matrizes de correlação usando valores das medias mensais de doença cardiovascular (DCV), doença do sistema respiratório (DSR), temperatura (T), umidade específica (Q), altura da camada limite planetária (ACLPL) e percentil 90 mensal das concentrações de poluentes atmosféricos O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e Aerossol. Números em cinza não apresentam significância estatística. Tons de azul apresentam correlações negativas, tons de vermelho representam correlações positivas. a) municípios de IDH-m (0,6<IDH<0,7), b) municípios de IDH-a (0,7<IDH<0,8), c) municípios de IDH-ma (IDH>0,8). .... 47

Figura 15 - Mosaico da mediana das taxas de morbidade hospitalar por DSR e DCV. Agrupamentos por faixas de percentil dos parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade específica Altura da camada limite). Percentil), percentil de densidade média dos poluentes atmosféricos (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Aerossol) e grupos de IDHM. IDH-m (0,6<IDH<0,7), IDH-a (0,7<IDH<0,8), IDH-ma (IDH>0,8)..... 57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ACLP – Altura da Camada Limite Planetária
- AIH - Autorização de Internação Hospitalar
- API - Application Programming Interface
- ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul
- CCM - Complexo Convectivos de Mesoescala
- CID-10 - Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde
- CLP - Camada Limite Planetária
- CO - Monóxido de carbono
- CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono
- COHb – Carboxiemoglobina
- DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
- DCV – Doença do Sistema Cardiovascular
- DPOC - Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas
- DSR – Doença do Sistema Respiratório
- EEA - European Environment Agency
- FTD - Faixa de Temperatura Diurna
- GEE - Google Earth Engine
- GFS - Global Forecast System
- HAPs - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IAM - Infarto Agudo Do Miocárdio
- IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
- IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
- IDH-a - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal alto
- IDH-m - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal médio
- IDH-ma - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal muito alto
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- JBN - Jatos de baixo nível
- MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- MP – Material Particulado
- MP<sub>2.5</sub> – Material Particulado com tamanho inferior a 2,5 µm

MP<sub>10</sub> – Material Particulado com tamanho inferior a 10 μm

NO<sub>2</sub> - Nitrogênio

NCEP - National Center for Atmospheric Prediction

O<sub>2</sub> – oxigênio

O<sub>3</sub> – Ozônio

Q – Umidade específica

RRTM - Rapid radiative transfer model

SC – Santa Catarina

SO<sub>2</sub> - dióxido de enxofre

SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>- íons de sulfito

T – Temperatura

TROPOMI - TROPOspheric Monitoring Instrument

USGS - United States Geological Survey

WRF - Weather Research and Forecasting

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS .....	17
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	SAÚDE HUMANA E DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS.....	19
2.2	INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIAL NAS DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS .....	21
2.3	INFLUÊNCIA DOS FATORES METEOROLÓGICOS NAS DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS. ....	23
<b>2.3.1</b>	<b>Temperatura .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Umidade atmosférica.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Camada limite planetária .....</b>	<b>25</b>
2.4	INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NAS DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS .....	26
2.5	CENÁRIO DA MORBIDADE CARDIORRESPIRATÓRIA.....	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	29
<b>3.1.1</b>	<b>Clima.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.2</b>	<b>População .....</b>	<b>31</b>
3.2	DADOS DE INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS .....	32
3.3	DADOS S OCIOECONÔMICOS .....	32
3.4	MODELAGEM METEOROLÓGICA .....	34
3.5	DADOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	36
3.6	ANÁLISE S ESTATÍSTICAS .....	37

<b>3.6.1</b>	<b>Correlação de Spearman.....</b>	<b>37</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Grupos de análise.....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>39</b>
4.1	VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL.....	39
4.2	RELAÇÕES ENTRE MORBIDADE HOSPITALAR, IDHM, CONDIÇÕES METEOROLOGICAS E POLUENTES ATMOSFERICOS.....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO A57</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil apresenta as maiores taxas de internações por doenças cardiovasculares e respiratórias no país (BRASIL, 2021). A incidência dessas doenças está associada com um grupo de variáveis, entre elas a vulnerabilidade social, incluindo fatores pessoais e a capacidade de resposta da população as ameaças ambientais a saúde (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2018). Outra variável que explica a incidência dessas doenças são as ameaças ambientais, que incluem as condições meteorológicas (CHENG et al., 2014) e a concentração de diferentes poluentes atmosféricos (WHO, 2017).

A incidência das doenças cardiorrespiratórias no ser humano vai ser influenciadas por variáveis como o gênero (CLOUGHERTY, 2010), hábitos pessoais (STRAK et al., 2017), idade (EBISU et al., 2019) e fatores sociais geradores de vulnerabilidade (PINO-CORTÉS et al., 2020). O risco de morbimortalidade pode ser maior devido as condições sociais (renda, acesso a saúde e escolaridade) a que as pessoas estão submetidas, podendo esses fatores serem identificados pelo índice de desenvolvimento humano municipal (IBGE, 2013). As condições sociais estão ligadas a fatores como exposição as ameaças ambientais e aumentam a vulnerabilidade social da população (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2018; HO et al., 2018).

Variáveis meteorológicas também são fatores de influência sobre a saúde humana. Podendo afetar diretamente o funcionamento do corpo humano (CHENG et al., 2014; KUMAR; ATTRI, 2016; PHOSRI; SIHABUT; JAIKANLAYA, 2020). Condições atmosféricas de baixa umidade e situações de extremo frio ou calor são apontadas como fatores geradores de mortalidade por doenças cardiovascular (DCV) e doenças do sistema respiratório (DSR) (GASPARRINI et al., 2015). Condições meteorológicas de estagnação atmosférica e altura da camada limite planetária (ACLPL) reduzida afetam indiretamente a incidência de DCV, pois dificultam a dispersão dos poluentes e proporcionam o aumento das concentrações próximas ao nível do solo (TORO A et al., 2019).

Os estudos que mostram a influência da concentração de poluentes atmosféricos (GAO et al., 2013; KRALL et al., 2018) e das condições meteorológicas (GASPARRINI et al., 2015; IKÄHEIMO et al., 2020) sobre a incidência de doenças cardiorrespiratórias e mortalidade normalmente utilizam dados de estações de monitoramento. Essas estações de monitoramento são considerados essenciais na coleta de dados que possibilitam esses estudos, porém sua representatividade espacial é limitada (RIGHINI et al., 2014) e incapaz de e capturar totalmente

a variabilidade espacial da concentração dos poluentes atmosféricos em larga escala. (YATKIN et al., 2020). Isso acaba por ser um fator limitante para que se desenvolvam estudos ecológicos em escalas regionais envolvendo meteorologia e poluição atmosférica. (REQUIA et al., 2016).

As influências sociais, meteorológicas e da poluição atmosférica são indicadas como fatores de controle sobre a incidência de doenças cardiorrespiratórias em escala local (LAURENT et al., 2007; LEITTE et al., 2009). Contudo, melhorar a cobertura espacial é fator necessário para a compreensão das relações entre desigualdade social, fatores ambientais e saúde humana (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2018). Assim, nota-se uma falta de abordagens metodológicas que lidem com a escassez de dados ambientais, comum em países em desenvolvimento e pequenas cidades, o que resulta em lacunas no conhecimento sobre os efeitos combinados das variáveis geradoras de risco para a saúde (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2018).

Avanços recentes nas tecnologias de sensoriamento remoto em alta resolução, como os instrumentos de monitoramento troposférico a bordo da missão espacial Sentinel-5p, são uma fonte de dados promissora que começam a ser utilizadas para possibilitar esse tipo de estudo (ANDREÃO; TOLEDO DE ALMEIDA ALBUQUERQUE, 2021). A utilização desses dados com modelagem meteorológica permite a ampliação da resolução e extensão territorial dos estudos que buscam a relação entre meteorologia, poluição e saúde humana.

Nesse trabalho, propõe-se a análise das relações entre poluição atmosférica (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, Aerossol), variáveis meteorológicas (Temperatura, umidade específica, altura da camada limite) e as condições sociais com a incidência de doenças cardiorrespiratórias na população de Santa Catarina (SC) no sul do Brasil.

Foram combinados dados de densidade média de poluentes na coluna de ar troposférico de imagens de satélite, modelagem meteorológica com *Weather Research and Forecasting* (WRF) e dados socioeconômicos de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e dados de internações hospitalares, cobrindo assim todos os municípios do estado, incluindo aqueles que sofrem com a escassez de dados ambientais.



## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Analisar as relações entre condições sociais, variáveis meteorológicas e poluição atmosférica com a morbidade hospitalar por doenças cardiorrespiratórias em Santa Catarina no sul do Brasil

### 1.1.2 Objetivos específicos

#### **Objetivo específico 1**

Pergunta – Existe sazonalidade nas internações hospitalares, condições meteorológicas e densidade de poluentes atmosféricos em Santa Catarina?

Hipótese – Os Municípios de Santa Catarina apresentaram sazonalidade em suas internações hospitalares, condições meteorológicas e densidade de poluentes, assim como heterogeneidade territorial dessas variáveis.

**Objetivo** – Analisar a variabilidade espacial e interanual das internações hospitalares, meteorologia e densidade média de poluentes atmosféricos nos municípios de Santa Catarina.

#### **Objetivo específico 2**

As condições socioeconômicas têm influência sobre as internações por doenças cardiorrespiratórias em Santa Catarina.?

Hipótese – Municípios de menor índice de desenvolvimento humano apresentam as maiores taxas de internações cardiovasculares e respiratórias.

**Objetivo** – Calcular a relação entre índice de desenvolvimento humano municipal com as taxas de internação cardiovasculares e respiratórias em Santa Catarina.

#### **Objetivo específico 3**

Pergunta – As condições atmosféricas têm influência sobre as internações por doenças cardiorrespiratórias em Santa Catarina.?

Hipótese – Temperatura, umidade do ar e altura da camada limite planetária estão associadas negativamente a maiores taxas de internações cardiovasculares e respiratórias em Santa Catarina.

**Objetivo** - Calcular a relação entre temperatura, umidade específica e altura da camada limite planetária com as taxas de internação cardiovasculares e respiratórias nos municípios de Santa Catarina.

**Objetivo específico 4**

Pergunta – A densidade média de poluentes atmosféricos tem influência sobre as internações por doenças cardiorrespiratórias em Santa Catarina.?

Hipótese – Municípios com maior densidade média de poluentes atmosféricos apresentam as maiores taxas de internação hospitalar por doenças cardiovasculares e respiratórias.

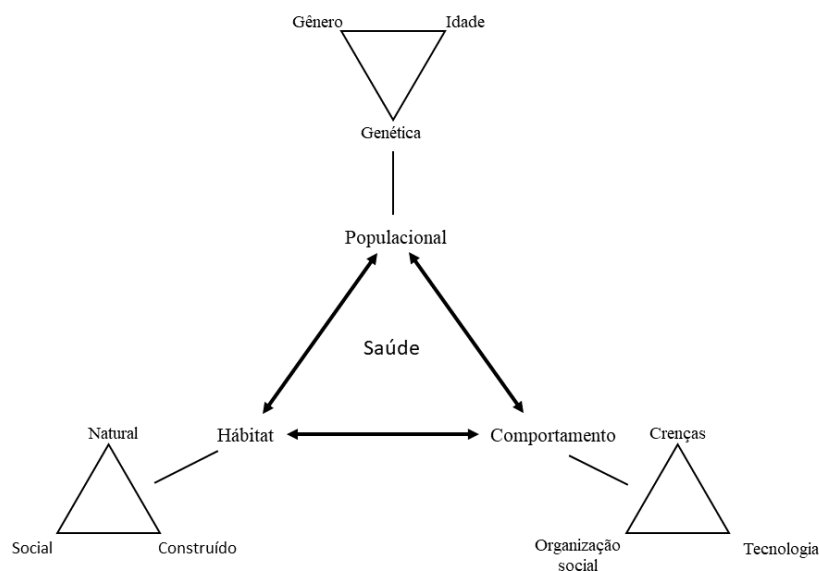
**Objetivo** – Calcular a relação entre poluição atmosférica e as taxas de internação cardiovasculares e respiratórias nos municípios de Santa Catarina.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SAÚDE HUMANA E DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS

Doença pode ser definida como quando um ser vivo se encontra fora do seu estado de saúde. Estado de saúde, por sua vez, pode ser descrito como uma interação de três elementos: hábitat, comportamento e populacional (MEADE; EMCH, 2010) (Figura 1). O hábitat, primeiro elemento, é o meio biótico onde os seres humanos realizam todas as suas atividades, variando em aspectos naturais, sociais ou construídos. O local de residência, a presença de escolas, hospitais, a rede viária, o clima da região, o local de trabalho, todos esses fazem parte do hábitat (MEADE; EMCH, 2010). O segundo elemento é o populacional, envolvendo os aspectos biológicos do corpo humano, fatores como genética, gênero e idade, qualidade da alimentação e características do sistema imunológico, os quais definem a suscetibilidade ou a capacidade biológica de enfrentamento aos estresses ao que o corpo é submetido. O terceiro elemento que envolve a saúde humana é o comportamento, tanto do ponto de vista individual e cultural (e.g., crenças), organização social, educação, mobilidade, intervenções tecnológicas e fatores econômicos financeiros (MEADE; EMCH, 2010).

Figura 1 – Elementos componentes do estado de saúde humana: *habitat*, comportamento e populacional



Fonte: Traduzido de Meade e Emch (2010).

As doenças cardiopulmonares abarcam os grupos de DCV e DSR, descritos nos capítulos IX e X da Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (CID-10) (Apêndice A). Juntos, esses grupos de doenças são as principais causas de morte (mortalidade) e internações hospitalares (morbidade) no mundo, atingindo principalmente países em desenvolvimento (WHO, 2017).

O corpo humano é submetido diariamente a cargas de estresse que podem afetar o funcionamento de seus sistemas componentes e propiciar ou gerar doenças. Quando falamos dos sistemas cardiovasculares esses estresses podem ser gerados por fatores ambientais como a presença de poluentes atmosféricos e mudanças nas condições climáticas. (GUYTON, 2011; VALLERO, 2014)

O sistema respiratório tem como função primária a entrega de oxigênio ( $O_2$ ) para o sistema circulatório e retirada do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) do corpo humano. As doenças do sistema respiratório afetam os órgãos componentes e limitam ou impedem a realização de sua função primordial (VALLERO, 2014).

As doenças que afetam o sistema respiratório podem ser divididas em agudas e crônicas. Entre as doenças agudas temos as irritações, inflamações e alergias que podem comprometer parcialmente a função respiratória ou gerar insuficiência respiratória completa (VALLERO, 2014). As doenças crônicas incluem doenças pulmonares obstrutivas crônicas (DPOC), câncer de pulmão, asma, além de doenças que envolvem o sistema cardiovascular (VALLERO, 2014).

O sistema cardiovascular tem suas funções diretamente ligadas ao sistema respiratório, envolvendo a coleta e distribuição do oxigênio dos pulmões, assim como levar o  $CO_2$  até ele. Porém, o sistema cardiovascular envolve ainda o transporte de nutrientes a todos os órgãos e tecidos do corpo humano (VALLERO, 2014). Esse transporte ocorre através do fluxo sanguíneo, que tem suas circulações mantidas pelo coração (VALLERO, 2014).

As DCV podem afetar diferentes funções e partes desse sistema. Quando afeta a parte vascular do corpo compromete o fluxo sanguíneo; já quando o coração é afetado compromete o bombeamento de sangue por esse órgão. Por fim, pode comprometer a interação entre os sistemas cardiovascular e os demais sistemas do corpo humano (GUYTON, 2011).

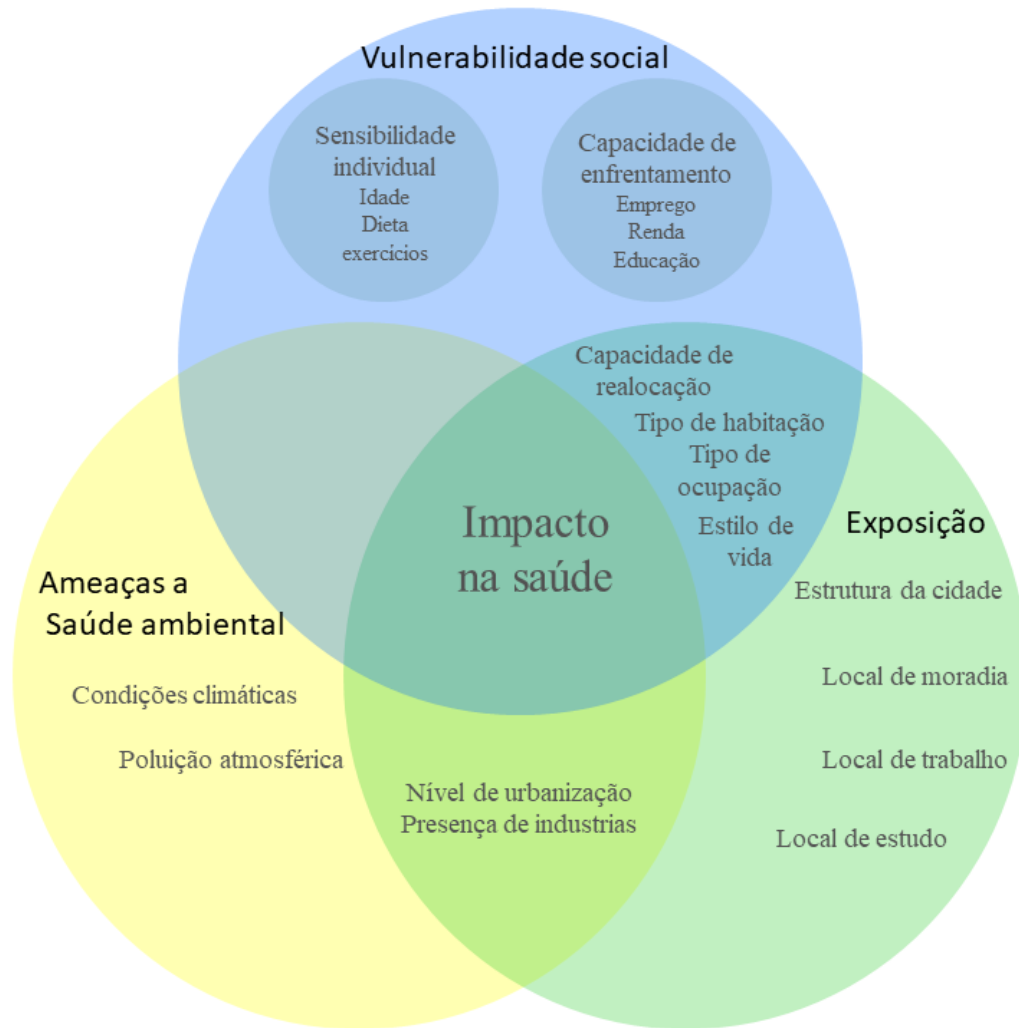
## 2.2 INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE SOCIAL NAS DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS

O impacto de uma ameaça ambiental à saúde de uma população é dependente da vulnerabilidade social dessa comunidade (QUINN; KUMAR, 2014). O nível de exposição da população a essa ameaça também é fator determinante na possibilidade de um fenômeno ambiental gerar um impacto sobre a saúde humana (Figura 2) (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2018).

Os impactos na saúde gerados pela poluição atmosférica ou por condições meteorológicas refletem a vulnerabilidade da população. Fatores como idade, gênero e hábitos pessoais são relevantes para determinar a sensibilidade dos indivíduos a doença (EBISU et al., 2019; PINO-CORTÉS et al., 2020; STRAK et al., 2017) Assim, podemos indicar que entre os grupos mais sensíveis aos poluentes atmosféricos estão os bebês e os idosos. Os primeiros por estarem em desenvolvimento pulmonar, e o tecido prolífico pode ser mais afetado pelos poluentes (MORAES et al., 2019). Os idosos são considerados mais sensíveis, pois geralmente apresentam quadros mais graves das doenças (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2018; GASPARRINI et al., 2015).

As condições financeiras desfavoráveis, baixo grau de educação formal e reduzida consciência sobre os riscos oferecidos pelas condições ambientais, acabam reduzindo a capacidade de enfrentamento das ameaças a saúde (GIRÃO, 2018; KRUIZE, 2007). Cakmak *et al.* (2016), mostram que crianças de famílias com renda mais baixa e menor escolaridade, tem maior risco de desenvolver DSR e ter comprometimento da função pulmonar.

Figura 2 – Diagrama do Impacto a saúde e ao bem-estar gerados pela combinação de vulnerabilidade e exposição a riscos ambientais.



Fonte: adaptado de European environment agency (2018)

Conhecer o nível de vulnerabilidade das populações se torna fator relevante para compreensão de fenômenos ambientais e o impacto sobre os seres humanos, assim estudos em níveis globais como Cuaresma (2015) utilizam o Índice de desenvolvimento humano para avaliar o grau de vulnerabilidade social dos países em relação às mudanças climáticas.

Estando a Vulnerabilidade social ligada à capacidade de enfrentamento às ameaças ambientais (EEA, 2018) e a vulnerabilidade social sendo composta por fatores como renda e educação. No Brasil o índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) com essas componentes em nível municipal (IBGE, 2013), podem indicar a vulnerabilidade dessas populações. Isso é o que aponta o estudo realizado por Silva (2007) onde é descrito que índice

de desenvolvimento humano municipal é determinado por variáveis de vulnerabilidade. Dessa forma, esse índice seria um indicador da vulnerabilidade municipal.

Populações mais vulneráveis socialmente, ou seja, com menor renda, menores índices de escolaridade, e menor acesso a saúde, estão mais propensas a terem impactos na saúde gerados pelas ameaças ambientais. Medir essa vulnerabilidade é um desafio, mas o IDHM pode ser utilizado nesse sentido.

## 2.3 INFLUÊNCIA DOS FATORES METEOROLÓGICOS NAS DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS.

### 2.3.1 Temperatura

A temperatura (T) é um fator de influência sobre a saúde humana. Diretamente, ela afeta o funcionamento do corpo, gerando stress e mudando as condições de circulação sanguínea, pressão arterial e produção de células sanguíneas, além de modificar o ritmo e capacidade respiratórias (GUYTON, 2011). Indiretamente, ela pode afetar a maneira como os diferentes componentes da atmosfera são distribuídos (VALLERO, 2014). Assim, poluentes presentes no ar podem ter sua dispersão alterada em função da temperatura (MARTI-SOLER et al., 2014). Os efeitos da temperatura sobre a saúde, apesar de imediatos, não necessariamente geram internações ou mortes por doenças cardiorrespiratórias instantâneas, existindo intervalo de tempo entre a exposição e a internação hospitalar (lag) a depender do tipo de exposição. Gasparrini (2015) indica um lag de poucos dias entre exposição ao calor e os efeitos de mortalidade sobre a população. Quando exposto a baixas temperatura o efeito pode demorar de 3 a 4 semanas (GASPARRINI et al., 2015; HUYNEN et al., 2001).

A exposição a uma grande variação de temperatura em um único dia tem efeito sobre a morbidade e a mortalidade. Cheng *et al* (2014) mostra que a Faixa de Temperatura diurna (FTD) influencia os riscos de morte e de internação por doenças cardiorrespiratórias. Phosri et al. (2020) reforçam isso, mostrando que uma variação de 11,8°C tem efeito de aumento sobre as internações por doenças cardiorrespiratórias nos 21 dias subsequentes, ou seja, apresenta uma correlação positiva com as internações.

Os períodos de ação de ondas de calor ou frio também influenciam a saúde humana, principalmente as pessoas já afetadas por alguma enfermidade. Segundo Xu *et al.* (2019), essas ondas de temperatura agem antecipando a morte de pessoas em estado avançado de DSR.

O estresse corporal causado pelo frio aparece mais significativamente envolvido com a mortalidade por DCV. Gonçalves *et al.* (2007) mostra que as mortes por esse tipo de enfermidade têm acréscimo nos períodos de menor temperatura. Este resultado é reforçado por Gasparini *et al.* (2015), que apontam que extremos de temperatura resultam em maior número de mortes por doenças cardiorrespiratórias. Porém, com maior número de mortes associadas a temperaturas menores. O efeito da temperatura pode ocorrer em espaços diferentes de tempo.

A temperatura tem papel direto sobre a saúde humana. Temperaturas altas ou baixas, ou grandes variações diárias, estão ligadas com a ocorrência de danos a saúde. A temperatura também aparece como fator condicionante para a dispersão de poluentes, podendo assim influenciar indiretamente na saúde humana. Outras condições meteorológicas também estabelecem essas relações com a dispersão de poluentes e apresentam impacto direto sobre a saúde humana.

### **2.3.2 Umidade atmosférica**

Conhecer o comportamento da umidade em relação a outros parâmetros climáticos é necessário para entender sua relação com a saúde da população. Netto e Carmo (2008) apontam que a combinação de altas temperaturas e baixa umidade associados podem aumentar o tempo de residência e distância alcançados pelos poluentes atmosféricos. O ar atmosférico tem uma pequena parcela de vapor d'água, e durante o processo de respiração o ar que entra pelo nariz será ainda mais umidificado, de maneira a diluir os gases até que chegue aos alvéolos. Uma situação de baixa umidade do ar resulta em maior esforço para o corpo umedecer o ar ao ponto ideal (GUYTON, 2011).

A umidade enquanto causa ou associada a incremento na morbidade ou mortalidade por doenças cardiorrespiratórias ainda é questionada. Schwartz *et al.* (2004) não encontraram correlação entre umidade e internações. Outras pesquisas como a de Freitas *et al.* (2010) apontam os baixos níveis de umidade como um fator significante para explicar as internações hospitalares por DCV. Kumar e Attri (2016) indicam que baixos índices de umidade tem papel indireto na morbidade por DSR, principalmente quando associadas a poluição atmosférica. Jo *et al.* (2017) afirmam que mudanças na umidade aumentam o efeito do material particulado com tamanho inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2.5}$ ) sobre a saúde humana.



A temperatura e a umidade atmosférica podem ser associadas como um risco ambiental a saúde humana. A presença ou ausência de umidade muda a forma como os gases atmosféricos são diluídos e a forma como interagem com o corpo humano.

### 2.3.3 Camada limite planetária

Na troposfera, a região mais próxima ao solo é conhecida por camada limite planetária. É nessa região da atmosfera que a superfície terrestre interfere de maneira significativa na temperatura, umidade e velocidade dos ventos (BARRY; CHORLEY, 2009).

A camada limite planetária (CLP) varia em altura dependendo de aspectos como temperatura, velocidade dos ventos, quanto mais elevados os valores dessas variáveis, maior será a espessura da camada limite, a qual pode variar ao longo do dia e do local. Em média, essa camada apresentará valores próximos a 1 km, tendo suas mínimas próximas a 20 m e máximas na casa dos quilômetros (HARTMANN, 2016).

Estudos como o Hu *et al.* (2013) mostram que a estrutura da CLP tem influência direta sobre o acúmulo de ozônio (O<sub>3</sub>), enclausurando esses poluentes dentro dessa camada, mantendo-os próximos à superfície. O mesmo ocorre com aerossóis pesados e MP<sub>2.5</sub>. Zhang *et al.* (2020) apontam que a ação conjunta do declínio na altura da camada limite e emissão de MP<sub>2.5</sub>, aprisionam os aerossóis pesados próximos a superfície. Tuna Tuygun & Elbir. (2020) encontrou correlações negativas entre Altura da camada limite e material particulado com tamanho inferior a 10 µm (MP<sub>10</sub>) em estudo realizado entre 2008 e 2016 no sul da Turquia, evidenciando que a sazonalidade da altura da camada limite influencia na dispersão desse poluente.

Wei *et al.* (2018) apontam que Jatos de Baixos Níveis (JBN) são responsáveis pela dispersão de poluentes do ar, resultando em melhoria da qualidade do ar no norte da China. Os JBN ocorrem dentro da CLP, gerando fortes ventos e turbulência, modificando o processo de dispersão e transporte de poluentes (WEI *et al.*, 2018).

A altura da camada limite planetária se apresenta como um dos fatores de controle sobre a dispersão dos poluentes. A combinação de menor altura da camada limite com altas emissões de poluentes atmosféricos podem estar associado a concentrações de poluentes que oferecem risco a saúde humana.

## 2.4 INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NAS DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS

A poluição atmosférica é correlacionada com incidências de doenças e efeitos sobre a saúde humana (FENG et al., 2016; SHAH et al., 2013). O nível de exposição e o tipo de poluentes respondem por diferentes enfermidades, normalmente segmentados entre efeitos agudos ou crônicos (SICARD et al., 2011).

As principais doenças crônicas relacionadas à poluição atmosférica são o câncer de pulmão, DCV, asma e Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas (DPOC) – incluindo a bronquite crônica e a enfisema pulmonar (KAMPA; CASTANAS, 2008). Esse tipo de patologia está relacionado aos vapores químicos e ao material particulado, sendo o estresse oxidativo gerado por esses materiais o principal mecanismo responsável por essas morbidades (VALLERO, 2014).

Entre as doenças agudas que afetam o ser humano estão as alergias, comprometimento das funções pulmonares, insuficiência respiratória e irritações que podem evoluir para inflamações (KAMPA; CASTANAS, 2008). O efeito agudo e a gravidade são dependentes do nível de exposição à poluição (VALLERO, 2014).

Entre as doenças não cancerígenas (e.g. asma, DPOC) os principais poluentes associados são o O<sub>3</sub>, o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) o nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o monóxido de carbono (CO) e o material particulado (MP), além de diversos compostos orgânicos (VALLERO, 2014).

Nos casos da incidência de cânceres, os poluentes normalmente associados são os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) e material particulado (MP), com destaque para as frações orgânicas dos aerossóis e amianto (RAASCHOU-NIELSEN et al., 2013).

Poluentes como poeira de carvão e pó resultante da quebra de rochas estão associados respectivamente a pneumoconiose e silicose. Fibras têxteis estão relacionadas à incidência de bissinose (variante da pneumoconiose) (VALLERO, 2014). As populações mais sujeitas a essas doenças são os trabalhadores dos respectivos setores industriais (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2018; WHO, 2017).

Doenças como a asma, especialmente em crianças, podem ser agravadas pela presença de ozônio troposférico, além da exposição prolongada a esse composto na infância aumentar a probabilidade do desenvolvimento de problemas respiratórios na vida adulta (VRIJHEID et al., 2016). O estudo realizado por Gryparis (2004) analisou o incremento na mortalidade gerado pelo aumento da concentração de O<sub>3</sub> em 23 cidades europeias. Os resultados mostram um

incremento de 0,33% e 1,13% no número total diário de mortes por DCV e DSR, respectivamente quando há aumento de  $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$  na concentração de ozônio nos períodos de 1h ou no período de 8h.

O  $\text{SO}_2$  enquanto gás poluente é altamente solúvel, diferente do  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ , assim, ele normalmente é dissolvido na mucosa das vias aéreas superiores formando íons de sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), gerando irritação, tosse e espirros. Parte do  $\text{SO}_2$  é absorvida, indo diretamente para a corrente sanguínea onde também é dissolvido formando  $\text{SO}_3^{2-}$ , o qual é tóxico ao corpo humano (CHEN et al., 2019).

Os poluentes atmosféricos também podem afetar o sistema cardiovascular (GUYTON, 2011). Esse sistema é responsável pela distribuição do oxigênio captado pelos alvéolos pulmonares para todas as células do corpo, de maneira a garantir o correto funcionamento do metabolismo. Poluentes como os MP, em especial os metais pesados, afetam a coagulação sanguínea, podendo causar obstrução dos vasos sanguíneos, gerando efeitos como angina e miocardite (KAMPA; CASTANAS, 2008).

O CO possui afinidade com a hemoglobina do sangue, reduzindo a capacidade de transporte do  $\text{O}_2$  (VALLERO, 2014; GUYTON, 2011). A presença de carboxiemoglobina (COHb) afeta de maneira especial os órgãos com maior consumo de oxigênio, como coração e cérebro (VALLERO, 2014). No entanto, até o momento não há evidências de que concentrações de CO aumentam o número de hospitalizações por DCV e DSR (MANAN; AIZUDDIN; HOD, 2018). Qiu *et al.* (2018) indicam em seu estudo realizado em 17 cidades na bacia de Sichuan na China, que poluentes como  $\text{MP}_{2.5}$ ,  $\text{MP}_{10}$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$  estão significativamente associados ao aumento das internações hospitalares por DSR.

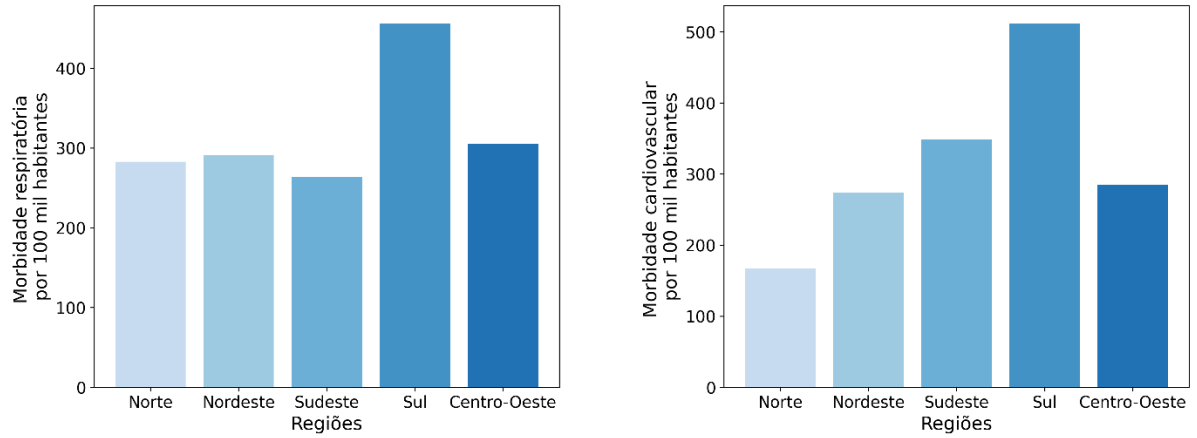
## 2.5 CENÁRIO DA MORBIDADE CARDIORRESPIRATÓRIA

As DCV foram responsáveis por aproximadamente 27% do total de mortes em 2019 no Brasil (BRASIL, 2021). Já as DSR responderam por 12% das mortes neste mesmo ano. Esses grupos de doenças juntos representam 20% de todas as internações hospitalares no país (BRASIL, 2021).

O Sul do Brasil apresentou um total de 291.910 internações por doenças cardiorrespiratórias no ano de 2019, representando 21,75% de todas as internações do tipo no Brasil (Figura 3) (BRASIL, 2021). Dentro dessa região, o estado de Santa Catarina contém 3%

da população nacional, porém foi responsável por 5% das internações por doenças cardiorrespiratórias no ano de 2019.

Figura 3 - Distribuição da morbidade hospitalar por doenças cardiovasculares (DCV) (esquerda) e do sistema respiratório (DSR) (direita).



Fonte - Elaborado pelo autor (2021).

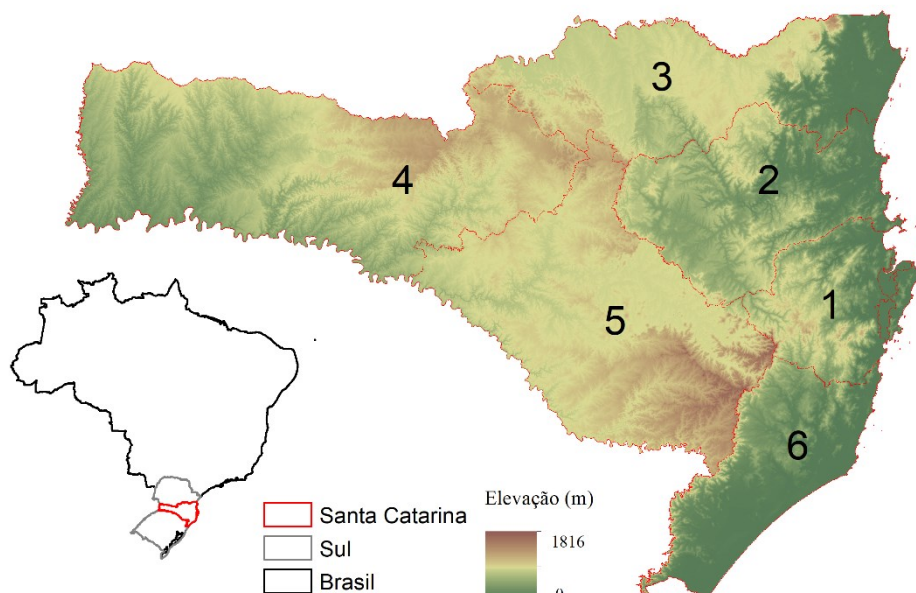
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Santa Catarina está localizada no centro da região Sul do país (Figura 4). O estado possui 295 municípios distribuídos em uma área de 95.737,954 km<sup>2</sup>. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população estimada é de 7.001.161 pessoas para o ano de 2017, resultando na 9ª maior densidade demográfica do ranking nacional, com 65,27 hab/ km<sup>2</sup>.

A geomorfologia de Santa Catarina é bastante diversa e formada por diferentes regiões de relevo (SANTA CATARINA, 1986). Entre as formas de relevo encontradas em Santa Catarina estão as elevações, planícies, campos de dinas, terraços marinhos e fluviais. O estado tem uma variação altimétrica de 1800 metros em seus pontos mais elevados, com 52% do território em altitudes superiores a 600 metros, o que tem influência sobre o clima do estado (ROCHA, 2016).

Figura 4 – Localização geográfica do estado de Santa Catarina com altimetria e mesorregiões do estado. 1) Grande Florianópolis, 2) Vale do Itajaí, 3) Norte catarinense, 4) Oeste catarinense, 5) Serrana, 6) Sul catarinense.



Fonte – Elaborado pelo autor (2021).

### 3.1.1 Clima

Santa Catarina possui duas classificações climáticas: na área litorânea e oeste o clima é classificado como subtropical, mesotérmico úmido e com verões quentes; nas regiões de maiores altitudes o clima é temperado, mesotérmico úmido e com verões amenos (ALVARES *et al.*, 2013).

As estações do ano são bem definidas em todo o estado de Santa Catarina, com variação de temperaturas em todas as regiões. A depender das regiões a média das temperaturas mínimas variam entre 8° C e 16° C e máximas entre 20° C e 28° C. Essas variações ocorrem razão da topografia e da ação de diferentes sistemas atmosféricos no estado (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

O verão no estado de Santa Catarina pode ser descrito como de alta intensidade de calor e altos índices de umidade. Sendo caracterizado como o período de maior temperatura em todas as regiões. Em todo o estado, a combinação entre esses aspectos gera pancadas de chuva, normalmente no final da tarde, efeito da convecção tropical. Durante o verão, o sistema de monções, na sua fase madura, terá efeito sobre as chuvas, gerando as máximas de chuva para grande parte do estado (CAVALCANTI *et al.*, 2009; FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

A zona de convergência do atlântico sul (ZCAS) também afeta a distribuição de temperatura e chuvas principalmente no litoral catarinense durante os meses de primavera e verão. Nas regiões Norte e Alto Vale a ZCAS é responsável pelo aumento da nebulosidade e consequente redução da insolação dessas áreas. Por fim, o planalto apresenta as temperaturas mais amenas, devido a altitude da região. Porém, a alteração de pré-frontais pode elevar a temperatura desses locais (AMANTINO MONTEIRO, 2001; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Nos meses do outono, Santa Catarina frequentemente passa por um período de bloqueio atmosférico, fazendo com que frentes (quente e frias) não consigam passar pelo estado, gerando estabilidade atmosférica. A convecção atmosférica também é reduzida no período devido ao menor calor no período da tarde, fazendo com que haja redução das chuvas (AMANTINO MONTEIRO, 2001; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

A falta de chuva nesses períodos associada a baixa umidade, facilita a ocorrência de queimadas, principalmente no planalto sul. Além disso, é possível ocorrer pequenas estiagens. Os bloqueios de frentes frias favorecem a ocorrência de massas de ar seco e quente, fazendo com que ocorra o evento meteorológico conhecido como “veranico”, onde a temperatura pode chegar a 30° (CAVALCANTI *et al.*, 2009; FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

Antagonizando os efeitos dos bloqueios de frentes frias, as incursões de massas polares também caracterizam o outono catarinense, gerando quedas da temperatura. Nas regiões de maior altitude, onde o frio é mais intenso, podem ocorrer geadas e neve, quando as massas polares encontram a atmosfera ainda úmidas, no início da estação (AMANTINO MONTEIRO, 2001; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

O inverno catarinense é marcado pela entrada de sucessivas massas de ar polar advindas do continente antártico. Nos períodos de ação dessas massas, o tempo é caracterizado pelas baixas temperaturas, céu claro e estabilidade atmosférica (AMANTINO MONTEIRO, 2001). A ação de anticiclones na parte continental durante o inverno favorece a formação de frentes frias que se propagam pelo interior do estado. Junto a isso, sistemas frontais e vórtices ciclônicos atuam como os principais agentes geradores de precipitação no período (AMANTINO MONTEIRO, 2001).

No inverno, o litoral apresenta um tempo mais estável, principalmente devido ao fortalecimento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que inibe a formação de nuvens mais verticais. A temperatura nesse período é marcada pela variação espacial, com declínio do litoral norte para o litoral sul. Além da variação com devido a altimetria do terreno (AMANTINO MONTEIRO, 2001; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

O período de primavera é marcado pela instabilidade da atmosfera, resultando em grandes variações do tempo, assim como ocorre no outono. Os meses iniciais dessa estação sofrem influência dos Complexo Convectivos de Mesoescala (CCM). Esse fenômeno normalmente formado na região norte argentina, tem deslocamento sobre o estado de SC e são responsáveis pela ocorrência de pancadas de chuva acentuadas e granizo em pontos isolados. No Oeste catarinense a primavera marca o período de maior precipitação (CAVALCANTI *et al.*, 2009; FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

### **3.1.2 População**

A população catarinense está mais concentrada nas regiões litorânea e nordeste do estado, essas são as regiões com maior densidade populacional, chegando a 500 habitantes por km<sup>2</sup>, contrastando com o restante do estado, onde predominam densidades populacionais menores que 50 habitantes por km<sup>2</sup>. As áreas com maior densidade são também as mais urbanizadas do estado, fazendo com que 60% da população catarinense vivesse em áreas urbanas no ano de 2010 (ROCHA, 2019).

Nas últimas décadas, Santa Catarina vem sendo afetada por uma migração populacional interna, que leva pessoas das áreas rurais para áreas urbanizadas, sendo as maiores taxas de recepção de pessoas concentradas no litoral e nas regiões norte e nordeste do estado. As regiões centro-sul e oeste do estado apresentam as maiores taxas de migração juntamente, destacando que na região oeste é verificada uma migração interna da população, da área rural para regiões urbanizadas (ROCHA, 2019).

### 3.2 DADOS DE INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS

Os dados de internação hospitalar por DCV e DSR foram obtidos do TABNET - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Nós selecionamos todos os dados dos capítulos IX (I00-I99) e X (J00-J99) do CID-10. Os dados selecionados foram os de Autorização de Internação Hospitalar (AIH) aprovados para o ano de 2019 em escala temporal mensal. Os dados foram segmentados por local de residência do paciente em escala municipal. Esses foram utilizados para calcular a taxa de internação hospitalar para cada 100 mil habitantes, juntamente com os dados populacionais municipalizados disponibilizados pelo IBGE (BRASIL,2021; IBGE, 2020).

### 3.3 DADOS SOCIOECONÔMICOS

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) mede os componentes de renda, longevidade e educação de uma população. Ele é expresso por um valor entre 0 e 1, sendo 1 o valor que indica bons resultados nos 3 componentes. O índice ainda é dividido em 5 faixas: muito baixo (0 – 0,499), baixo (0,5 – 0,599), médio (0,6 – 0,699), alto (0,7 – 0,799) e muito alto (0,8 – 1). Esse índice é utilizado para cálculo do desenvolvimento humano para países ou grandes áreas territoriais. Assim, para medir o nível de desenvolvimento humano em nível municipal, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) formulou um novo índice, chamado de IDHM. Esse é elaborado usando as mesmas dimensões do IDH, porém, com algumas modificações em relação ao cálculo (IBGE, 2013).

As modificações no cálculo do IDHM em relação ao IDH foram necessárias visto que os municípios são áreas mais permeáveis, econômica e demograficamente quando comparado a

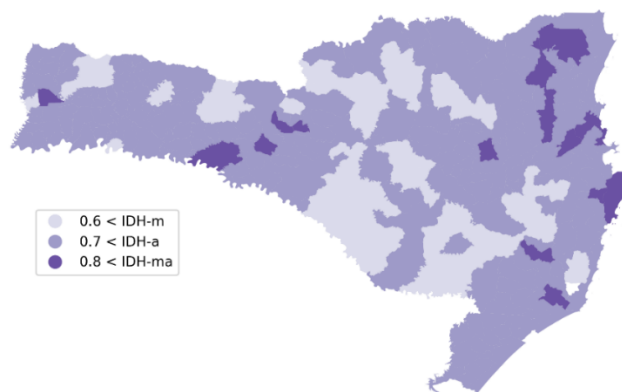


países. Além disso, por se tratar de um índice nacional, são utilizados dados disponibilizados pelo Censo demográfico, não havendo correspondência direta com os dados usados internacionalmente para o cálculo do IDH. O índice IDHM usa em sua metodologia os seguintes índices: “expectativa de vida ao nascer” para a dimensão de longevidade, que reflete a saúde da população; “renda familiar per capita média do município” para renda; e “escolaridade da população adulta” e “fluxo escolar da população jovem” para a dimensão de escolaridade (IBGE, 2013).

O IDHM, portanto, mostra-se um bom índice para avaliar a vulnerabilidade da população à medida que congrega de maneira conjunta os parâmetros de saúde, renda e educação. Quando avaliamos a relação com poluição atmosférica a relevância é ainda maior pois, como mostra Santra (2014), em países em desenvolvimento o IDH está ligado a emissões atmosféricas em nível nacional.

Em Santa Catarina, até a década de 2000 havia municípios com índices abaixo de 0,6, que indica um baixo IDHM. No entanto, entre 2000 e 2010 houve uma melhora nesse índice, de modo que no último cálculo nenhum município catarinense apresentou valor abaixo de 0,6 de IDHM (Figura 5). Essa evolução mostra uma crescente em relação ao acesso a renda e educação, assim como uma maior longevidade populacional e consequente envelhecimento populacional (ROCHA, 2019). Sendo assim Santa Catarina apresenta 3 níveis de IDHM: IDHM médio (IDH-m) onde os municípios estão entre  $0,6 \leq \text{IDHM} < 0,7$ , IDHM alto (IDH-a) com municípios na faixa de  $0,7 \leq \text{IDH} < 0,8$ . Por fim os municípios com  $\text{IDHM} \geq 0,8$ .

Figura 5 – Distribuição do IDHM nos municípios de Santa Catarina. IDH-m ( $0,6 < \text{IDH} < 0,7$ ), IDH-a ( $0,7 < \text{IDH} < 0,8$ ), IDH-ma ( $\text{IDH} > 0,8$ )



Fonte – Elaborado pelo autor (2021).

### 3.4 MODELAGEM METEOROLÓGICA

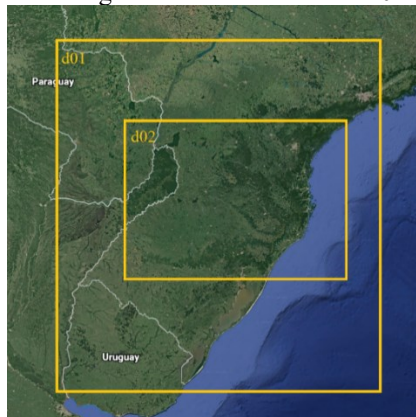
O modelo meteorológico WRF é um modelo atmosférico de mesoescala, não hidrostático de previsão numérica de tempo e clima. Seus conceitos físicos são baseados na conservação de massa, energia e movimento. Através das equações presentes no modelo é possível explicitar as variações de temperatura, umidade, pressão e energia, assim como a relação entre a mudança dessas quando submetidas a forças diversas (SKAMAROCK et al., 2019).

O principal motor do modelo são as equações de Euler, sendo essa uma modificação das equações de Navier-Stokes, onde o ar é generalizado com um fluido não viscoso. Skamarock et al (2019) descrevem cada uma das equações e suas aplicações dentro do modelo.

Na resolução das equações de Euler não-hidrostáticas, o modelo considera a atmosfera como compressível e utiliza uma coordenada vertical que acompanha a superfície do terreno, com integração temporal *time-split*. Porém, algumas características da atmosfera são inclusas por parâmetros não presentes nas equações de Euler.

Nesse trabalho, foi utilizada a opção de trabalhar com dois domínios aninhados, o que reduz os erros associados do domínio interno, eliminando problemas com as condições de contorno. Sendo as condições de contorno do d02 retiradas dos resultados do d01, enquanto as condições de contorno do domínio maior são definidas por condições globais (HARRIS; DURRAN, 2010). Os domínios escolhidos são representados na Figura 6, sendo o domínio d01 composto por uma grade de 15 x 15 km e o d02 possuindo uma grade de 3 x 3 km. Verticalmente o modelo possui 33 níveis de 50 hpa, que é o número máximo permitido pelos dados de entrada utilizados.

Figura 6- Domínios de modelagem utilizados no WRF. d01 – externa e d02-interna



Fonte - Elaborado pelo autor (2021).

As configurações adotadas têm por base a análise realizada por Will e Hoinaski, (2020) (ANEXO B), na qual foram testadas seis opções de configuração e as saídas do modelo foram comparadas com dados de estações meteorológicas para as cidades de Florianópolis, Lages e Chapecó. As cidades foram escolhidas por terem dados com resolução adequada e com poucas falhas. Além disso essas cidades encontram-se em regiões distintas e com condições geográficas representativas da região onde se encontram. Florianópolis estando no litoral, Lages na região serrana do estado e Chapeco na região mais interior. Apresentando assim fatores distintos que podem modificar as condições climáticas onde estão inseridos. Nesse estudo as análises estatísticas quando comparamos a temperatura de Florianópolis com as estivas modeladas mostram um bias 0.04, erro quadrado médio de 2.61 e o Dpielkel de 1.87, onde Dpielkel avalia a destreza do modelo meteorológico, sendo essa demonstrada quando Dpielkel  $< 2$  (HALLAK; PEREIRA FILHO, 2011). Assim podemos avaliar o modelo representando as condições de temperatura de forma adequada. Dessa maneira, os seguintes parâmetros foram adotados nas configurações do WRF:

- *Morrison 2-moment scheme* para microfísica de nuvens;
- *Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)* para radiação de ondas longas;
- *Dudhia scheme* para radiação de ondas curtas;
- *Monin-Obukhov Similarity scheme* para camada superficial.
- *Noah Land-Surface Model* para cobertura do solo;
- *YSU scheme* para configuração da camada limite;
- *Kain-Fritsch scheme* para Turbulência Atmosférica.

Para a modelagem foram utilizados como dados de entrada os arquivos do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) no formato Global Forecast System (GFS) com resoluções espacial de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  e temporal de 6 horas (NCEP, 2020). Para uso do solo foram utilizados os dados do Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) disponíveis no site do Mesoscale & microscale Meteorology Laboratory (MMM, 2021) em alta resolução para cada um dos campos. Com classificação do solo do United States Geological Survey (USGS). Dados esses que já se encontram no formato adequado para uso no modelo e recomendados pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR).

Fora realizadas simulações para os anos entre 2008 e 2019, porém devido às limitações dos dados de poluição atmosférica somente os dados de saída do modelo para o ano de 2019

foram utilizados. O modelo WRF tem como saída arquivos do tipo NETCDF contendo 55 diferentes parâmetros. Entre esses parâmetros foram selecionados as saídas do modelo referentes a temperatura, umidade específica do ar (Q) e altura da camada limite planetária (ACLP) para o ano de 2019 com resolução temporal horária. O tempo de execução do modelo WRF na resolução adotada foi de aproximadamente 15 dias para cada um dos anos simulados, contando com 40 núcleos computacionais funcionando simultaneamente durante 24 horas diárias. Para isso foram elaboradas rotinas computacionais que permitiram a execução de forma acelerada e contínua.

As saídas do modelo foram agregadas em valores de média diária para cada um dos municípios de Santa Catarina, para isso foram realizadas duas etapas. A primeira etapa consistiu na extração dos parâmetros desejados, temperatura, umidade específica e altura da camada limite planetária, dos dados gerais. Para isso foi utilizado o conjunto de comandos estatísticos denominado *Climate Data Operators* (CDO) que permite um manejo mais célere dos componentes de NetCDF (SCHULZWEIDA, 2019). Os comandos são executados diretamente no terminal LINUX.

Utilizando o comando “*selname*” foram selecionados os parâmetros meteorológicos desejados e armazenados em novos arquivos NetCDF. Posteriormente foi aplicado o comando “*daymean*” que permitiu realizar a média diária das saídas do modelo.

Utilizando os resultados modelados segmentados por parâmetro no formato NetCDF, A linguagem de programação *python* foi aplicada para localizar cada um dos pontos da grade de saída do WRF nos municípios catarinenses. Para isso foram utilizadas as bibliotecas *netcdf4-python*, *geopandas* e *pandas*. Em seguida foi extraída a média de cada uma das variáveis meteorológica para os municípios, resultando em um único valor diário de temperatura, umidade específica e ACLP. Posteriormente foi realizada a média mensal, sendo esse o produto utilizado nas análises.

### 3.5 DADOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os dados de densidade de troposférico CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Aerossol e O<sub>3</sub> na coluna de ar foram coletados através da *Application Programming Interface* (API) do *Google Earth Engine* (GEE) para *Python*. Os dados são provenientes do *TROPOspheric Monitoring Instrument* (TROPOMI), equipamento que está a bordo do Satélite *Copernicus*, mais especificamente da missão Sentinel 5 Precursor (S5P) da Agência Aeroespacial Europeia.

O estudo de Griffin *et al.* (2019) compararam dados de NO<sub>2</sub> do TROPOMI, usando como objeto de comparação dados observados por aeronave, dentro da camada limite e dados em solo em Alberta no Canadá. Os dados medidos por aeronave mostraram uma correlação entre 0,7 e 0,8 com os dados do TROPOMI. Já os dados medidos na superfície terrestre mostraram correlação de 0,68. Os dados de NO<sub>2</sub> do TROPOMI também foram comparados com dados de superfície por Ialongo *et al.* (2020) na Finlândia. Nele foi identificado um bias de aproximadamente 10% ( $0.12 \times 10^{15}$  molec. cm<sup>-2</sup>) e desvio quadrado médio de  $2.2 \times 10^{15}$  molec. cm<sup>-2</sup>, apresentando uma correlação de 0,68.

No presente estudo foram coletados dados para todo o ano de 2019 com resolução espacial de 7 km × 3.5 km utilizando o API do GGE. Os dados têm resolução temporal diária. Foi calculado o percentil 90º para cada um dos meses, representando as maiores concentrações mensais para cada um dos pontos da grade. Os dados do percentil 90 foram adotados por assim evitar valores outliers, como poderia acontecer com as máximas concentrações. Os dados foram agregados através da média de todos os valores que estavam dentro da área municipal.

## 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

### 3.6.1 Correlação de Spearman

O coeficiente de correlação de Spearman ( $\rho$ ), é uma medida não paramétrica que estabelece a relação monotônica entre duas variáveis, através do que é conhecido como correlação de postos, ou seja, estabelece a dependência estatística entre a classificação de duas variáveis (GLANTZ, 2014).

Os valores do coeficiente  $\rho$  podem variar entre 1 e -1, em que esses extremos descrevem uma relação perfeitamente monotônica entre as duas variáveis avaliadas; no caso de  $\rho$  igual a 1, essa relação é igual, e em casos em que  $\rho$  é -1, essa relação mostra uma variação perfeitamente antagônica. Valores próximos a zero demonstram a não existência de relação entre estas variáveis (GLANTZ, 2014).

O coeficiente foi aplicado na avaliação de relação entre as internações hospitalares por DCV e DSR com os demais parâmetros de controle adotados nesse trabalho para cada uma das cidades do Estado de Santa Catarina.

### 3.6.2 Grupos de análise

Previendo agrupar as cidades por suas similaridade ou dissimilaridade, foi adotado critério numérico para agrupar os municípios. O conjunto total de cidades foi então separado em subgrupos sem sobreposição utilizando como fator de agrupamento o IDHM, seguimos a classificação dada pelo IBGE, resultando assim em três grupos distintos. O primeiro grupo foi denominado IDH-m, que reúne as cidades que apresentam IDHM entre 0,6 e 0,699, consideradas cidades de IDHM médio. O segundo grupo, IDH-a, agrupa os municípios com IDHM entre 0,7 e 0,799, considerados de IDHM alto. O último, IDH-ma, é composto por todos os municípios com IDHM acima de 0,8, sendo esse o grupo de IDHM muito alto.

Foram realizados testes de hipótese para verificar se havia diferença real entre as médias de internações nos três grupos com o teste de Mann-Whitney. Esse é um teste da categoria de procedimentos denominados não paramétricos, ou seja, não exigem a normalidade das variáveis (CORDER; FOREMA, 2009). O teste de Mann-Whitney é uma variação do teste de Wilcoxon, sendo baseado em postos, obtidos a partir da combinação as duas amostras testadas (GLANTZ, 2014). Calcula-se então o  $W$ , que pode ser descrito como a probabilidade de a combinação daqueles postos ocorrer diante da amostra total. Esse valor é então comparado com o valor crítico ( $c$ ), se  $W > c$ , podemos então rejeitar a hipótese nula. O teste tem como hipótese  $H_0$  de que as amostras são iguais, logo a rejeição dessa hipótese nos mostraria que as distribuições respondem a populações distintas (GLANTZ, 2014). O cálculo de Mann-Whitney foi realizado com uso da biblioteca Scipy do python, mais especificamente com a função “`mannwhitneyu`” com  $\alpha$  de 0.05 (HASLWANTER, 2016).

Em uma segunda análise, as cidades previamente agrupadas por IDHM foram reagrupadas, agora por percentis (0-25, 25-50, 50-75, 75-100) das variáveis ambientais analisadas, para cada uma das variáveis. Assim, os municípios foram agrupados em 12 diferentes conjuntos.

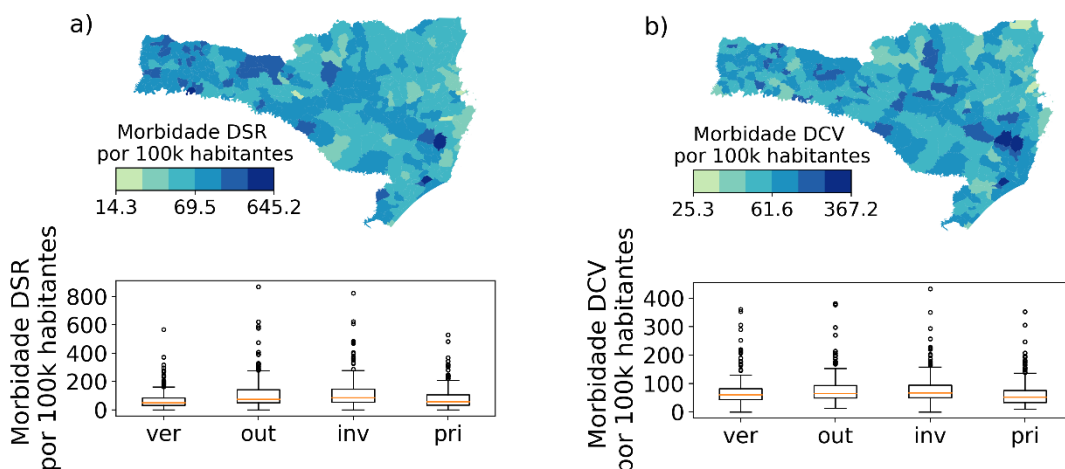
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes ao objetivo específico 1 estão expressos no item 4.1. Os resultados dos objetivos específicos 2,3 e 4 são apresentados no item 4.2.

### 4.1 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL

Os dados de morbidade hospitalar por DCV e DSR apresentaram uma pequena sazonalidade, com os maiores valores de internação se concentrando nos meses de inverno e outono. Não foi possível verificar padrões espaciais na distribuição das internações cardiorrespiratórias no estado de Santa Catarina (Figura 7). As regiões oeste e serrana apresentam a maior concentração de cidades acima da média de internações hospitalares por DSR. Entretanto, não foi identificado o mesmo comportamento para DCV.

Figura 7 – Distribuição da taxa de morbidade hospitalar por (a) DSR e (b) DCV nos municípios de Santa Catarina no ano de 2019. ver - verão, out - outono, inv - inverno, pri - primavera.

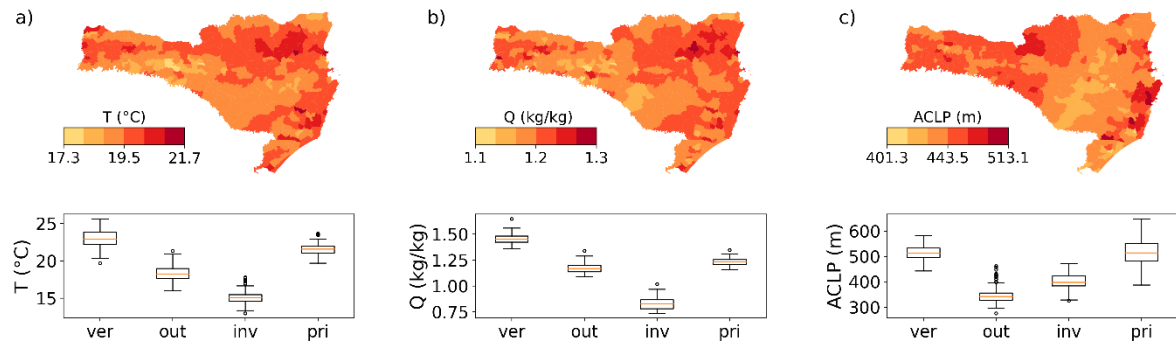


Fonte – Elaborado pelo autor (2021).

As condições meteorológicas simuladas para o ano de 2019 apresentaram comportamento sazonal, com estações do ano bem definidas (Figura 8). As temperaturas médias tiveram seus menores valores no mês de inverno (julho, agosto, setembro) e maiores no verão (janeiro, fevereiro e março), sendo esse o comportamento similar ao historicamente verificado para essa variável (CAVALCANTI *et al.*, 2009). A umidade específica apresentou comportamento similar a temperatura, com máximas no verão e mínimas no inverno. O

comportamento similar da temperatura e umidade específica aconteceu também espacialmente, com o litoral catarinense apresentado valores similares a região norte e extremo oeste. A Serra Catarinense concentrou os municípios com baixas temperaturas e umidades específicas, principalmente devido por ser a região com maiores altitudes do estado (ROCHA, 2019). A camada limite atmosférica, no entanto, apresentou comportamento diferente dos demais parâmetros, sendo seus mínimos e máximos encontrados nas estações de transição, com os menores valores se concentrando na região serrana do estado.

Figura 8 – Distribuição da média e boxplots de a) T - temperatura, b) Q - umidade específica, c) ACLP - altura da camada limite planetária para os Municípios Catarinense em 2019. ver - verão, out - outono, inv - inverno, pri - primavera.



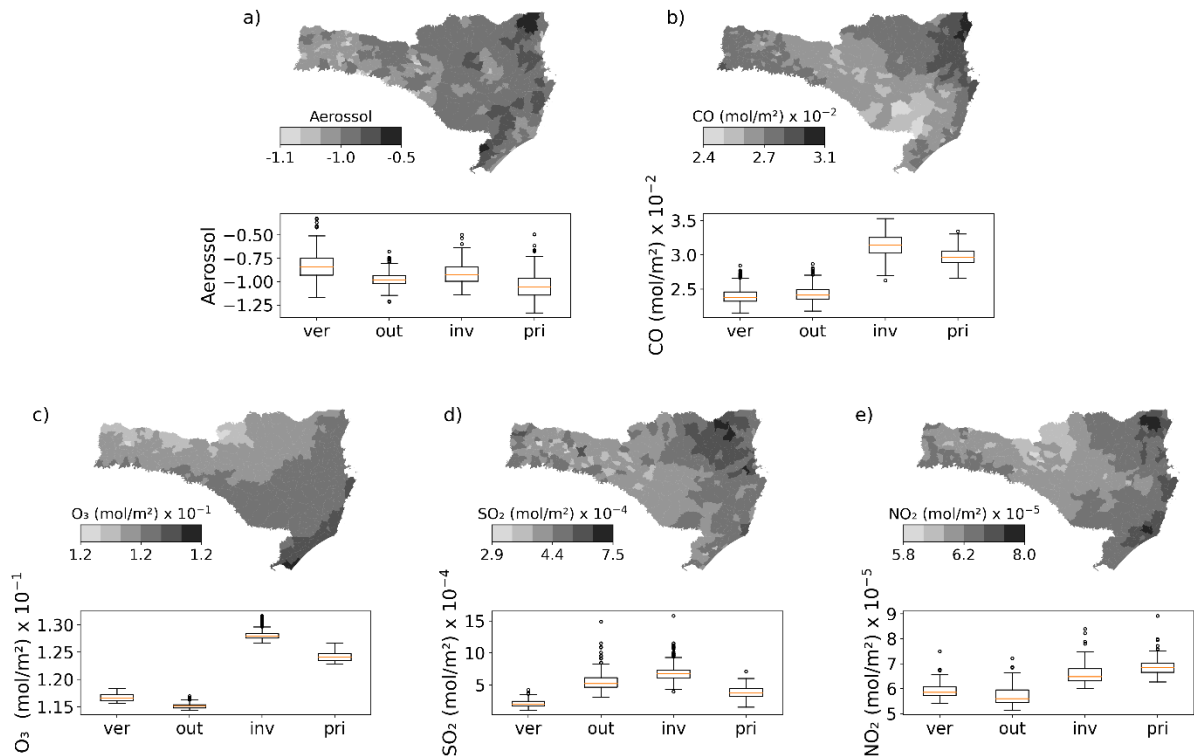
Fonte – Elaborado pelo autor (2021).

No ano de 2019, a densidade média dos poluentes atmosféricos apresentou comportamento distinto para cada uma das substâncias analisadas (Figura 9). O comportamento espacial dos poluentes mostra que  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  tiveram suas densidades máximas na região sul do estado. A região norte apresentou as maiores densidades de  $\text{SO}_2$  e  $\text{CO}$ . O Aerossol se mostrou mais homogêneo presente no estado, com os menores valores aparecendo na região oeste.

As densidades médias dos poluentes tiveram comportamento distinto também na distribuição interanual. Os maiores valores se concentraram nos meses de inverno e primavera, com exceção do aerossol que apresentou valores máximos no verão. O comportamento dos poluentes  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{NO}_2$  foram os mais próximos. O aerossol apresentou comportamento similar em todas as estações, porém com maior amplitude de variação nos meses de primavera e verão. O  $\text{SO}_2$  apresentou comportamento inverso a temperatura e umidade específica, apresentando as maiores densidades nos meses de inverno e menores valores no verão. Podendo indicar relação negativa desse poluente com os fatores meteorológicos.



Figura 9 – Distribuição espacial da média do percentil 90 e boxplot de a) Aerossol, b) CO, c) O<sub>3</sub> d) SO<sub>2</sub> e) NO<sub>2</sub> para os Municípios Catarinenses em 2019. ver - verão, out - outono, inv - inverno, pri - primavera.



Fonte – Elaborado pelo autor (2021).

## 4.2 RELAÇÕES ENTRE MORBIDADE HOSPITALAR, IDHM, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E POLUENTES ATMOSFÉRICOS

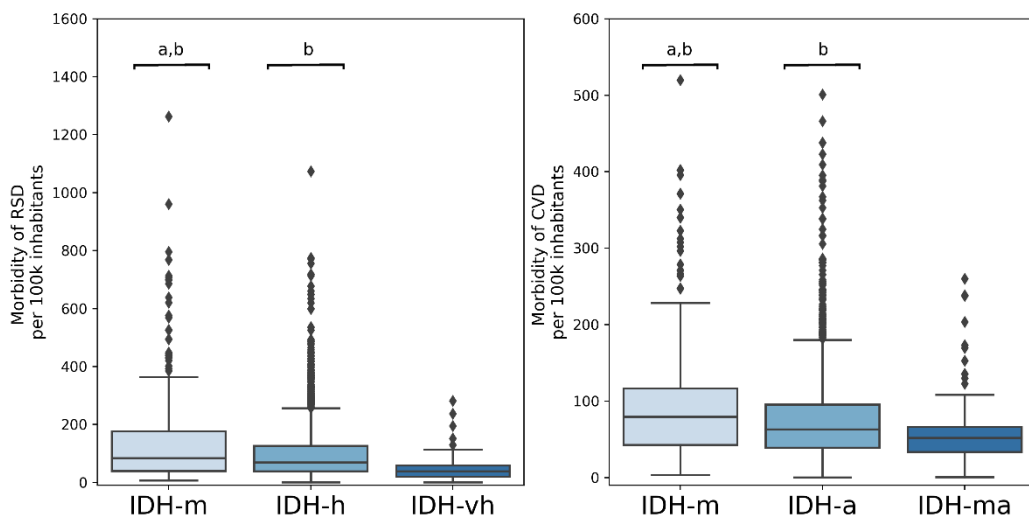
As condições sociais foram determinantes na análise da relação entre meio ambiente e DCV e DSR. Quando olhamos o diagrama da European Environment Agency (EEA) (Figura 2) sobre como ocorre o impacto da saúde, é indicado que associação entre vulnerabilidade, exposição e as ameaças à saúde é o que gera esse impacto.

Nesse estudo, não foram analisados diretamente os fatores de exposição e vulnerabilidade individual, porém, eles estão ligados às ameaças à saúde geradas pela poluição atmosférica. Vinikoor-Imler (2014) aponta que os locais de moradia e trabalho podem ser agravantes para doenças, estando os trabalhadores que exercem suas atividades ao ar livre mais potencialmente vulneráveis aos efeitos dos poluentes na saúde. Esse mesmo autor demonstra que fatores individuais como genética, má alimentação e idade são agravantes para ocorrência de DCV e DSR.

As internações por DCV e DSR nos municípios catarinenses em 2019 foram maiores em locais com menor IDHM (Figura 10). Indicando que as condições de acesso ao sistema de

saúde, educação e melhores condições financeiras são fatores relacionados diretamente à morbidade hospitalar no sul do Brasil. Isso corrobora o trabalho de Cakmak (2016), que aponta que grupos com menor renda e menores níveis educacionais possuem maior risco de desenvolvimento de DCV e DSR. As condições de acesso a políticas públicas de saúde também são importantes. Nesse sentido, Jiao *et al.* (2018) aponta que o acesso a serviços de saúde e assistência social em nível municipal reduz o risco de ocorrência dessas doenças. Assim, os resultados aqui apresentados reforçam a ideia de que a vulnerabilidade é fator relevante a ser considerado nas análises envolvendo saúde, poluição e meteorologia.

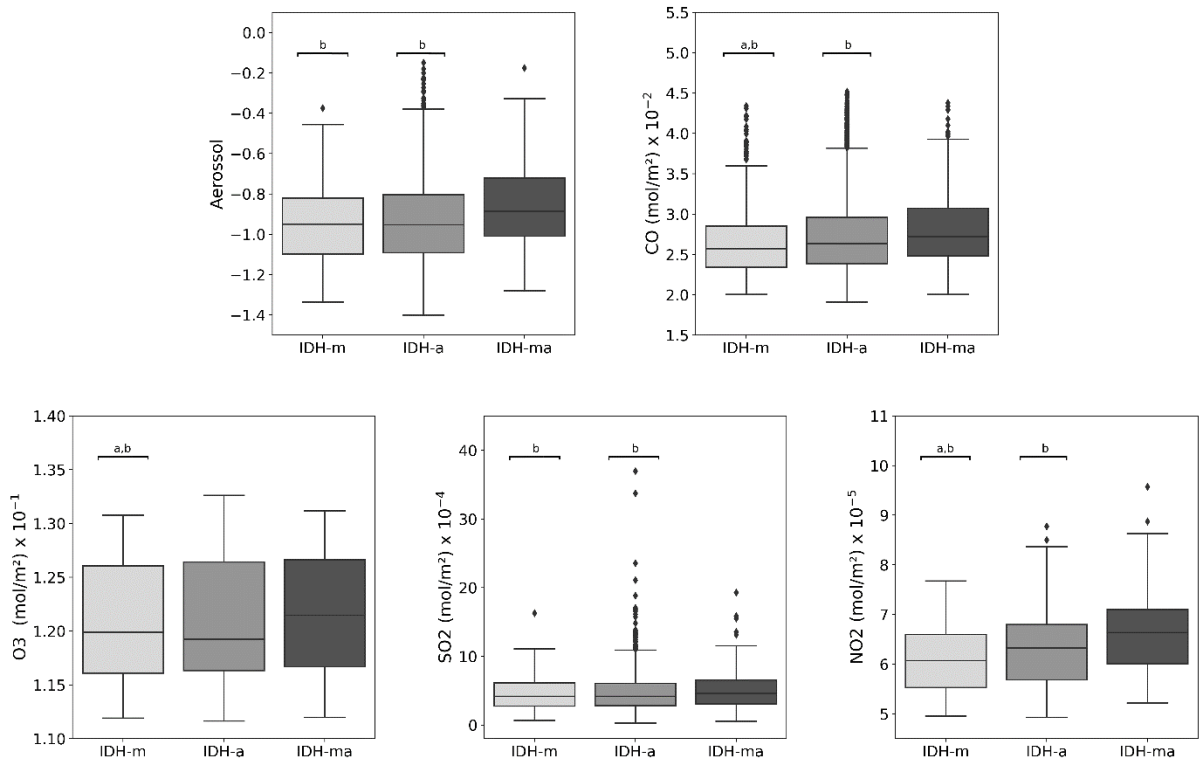
Figura 10 – Boxplot da morbidade por DSR (esquerda) e DCV (direita) em Santa Catarina por grupo de IDHM em 2019. IDH-m ( $0,6 < \text{IDH} < 0,7$ ), IDH-a ( $0,7 < \text{IDH} < 0,8$ ), IDH-ma ( $\text{IDH} > 0,8$ ). (a) apresenta diferença significativa em relação a IDH-a, (b) apresenta diferença significativa em relação a IDH-ma. (nível de significância  $p < 0,05$ ).



Fonte – Elaborado pelo autor (2021).

O presente estudo demonstra que cidades com maior IDHM tendem a possuir maior nível de poluição (Figura 11), resultado semelhante ao que aponta Santra (2014), que demonstra a associação entre poluição atmosférica e IDH em países em desenvolvimento. De toda forma, estar mais exposto não significa maior incidência das DCV e DSR na população.

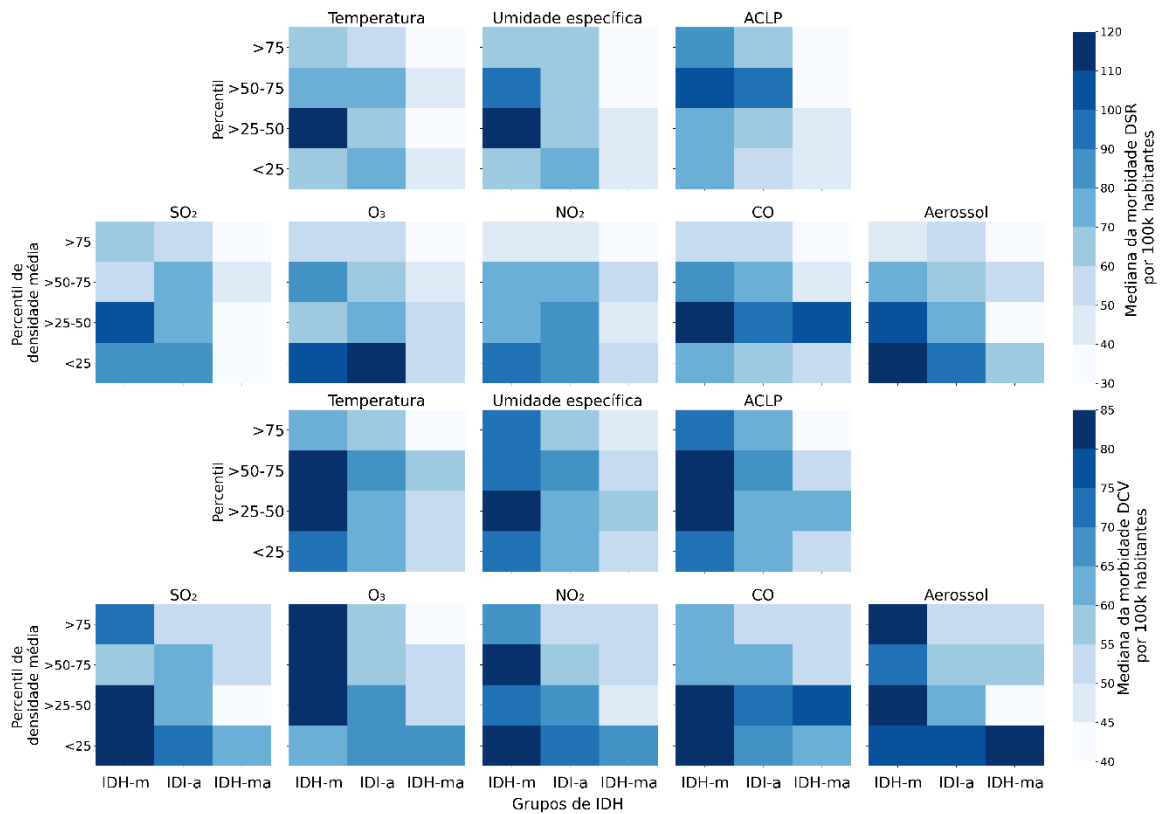
Figura 11 - Boxplot da densidade média dos poluentes atmosféricos (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Aerossol) e grupos de IDHM. IDH-m (0.6<IDH<0.7), IDH-a (0.7<IDH<0.8), IDH-ma (IDH>0.8) no ano de 2019. 0.6<IDH<0.7), IDH-a (0.7<IDH<0.8), IDH-ma (IDH>0.8). (a) apresenta diferença significativa em relação a IDH-a, (b) apresenta diferença significativa em relação ao IDH-ma



Fonte - Elaborado pelo autor (2021).

Quando agrupadas as cidades, não só pelo IDHM, mas também por fatores ambientais, o controle dos fatores sociais sobre as internações se revela predominante (Figura 12). Dos 16 blocos de agrupamento testados, quando analisados visualmente, 14 apresentam a maior mediana de internações concentradas nos grupos de menor IDHM, independente da variável ambiental analisada. Municípios posicionados na maior faixa de poluição (>75) não apresentaram as maiores medianas de internação, assim como municípios nas maiores (>75) ou menores (<25) faixas das condições meteorológicas também não apresentaram as taxas de internação mais elevadas. Nossos resultados apontam, portanto, que as hospitalizações não estão ligadas a extremos de poluição ou meteorológicos, mas sim as condições sociais. Uma figura com mais segmentações (ANEXO A), envolvendo percentis >95 e <5 reforçam os resultados aqui encontrados.

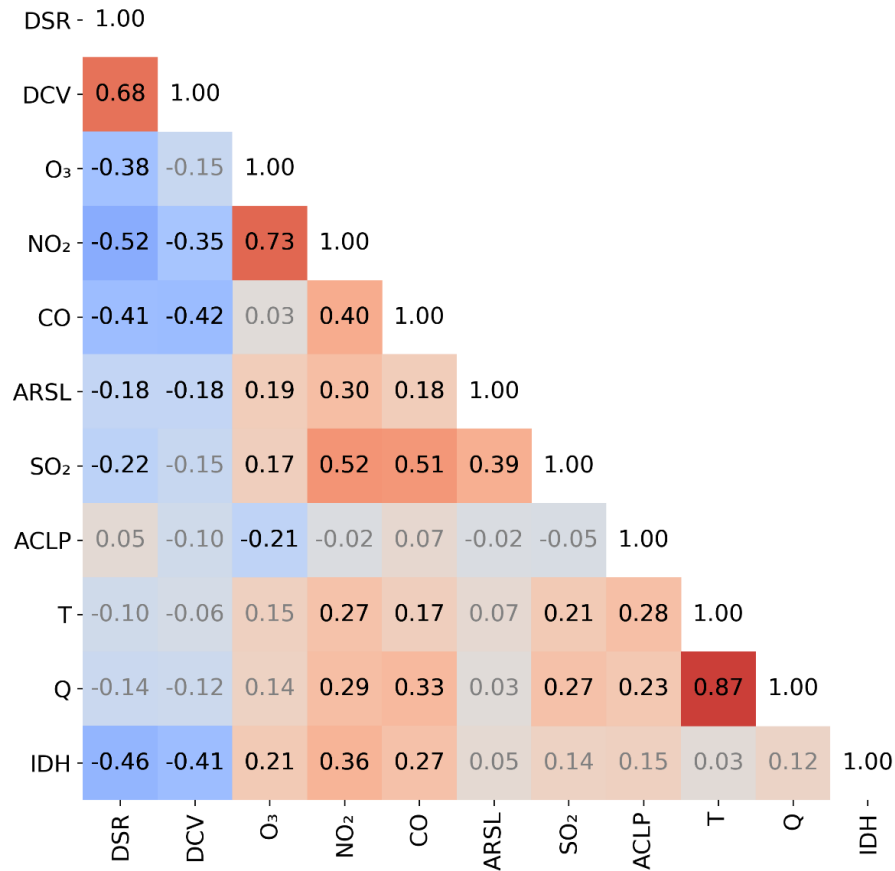
Figura 12 – Mosaico da mediana das taxas de morbidade hospitalar por DSR e DCV. Agrupamentos por faixas de percentil dos parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade específica, Altura da camada limite), percentil de densidade média dos poluentes atmosféricos (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Aerossol) e grupos de IDHM. IDH-m (0,6<IDH<0,7), IDH-a (0,7<IDH<0,8), IDH-ma (IDH>0,8).



Fonte - Elaborado pelo autor (2021).

Apesar de mais poluídos, municípios com maior IDH oferecem melhores condições de vida à população, reduzindo o risco de desenvolvimento de doenças em seu estado mais avançado, apresentando assim menores índices de morbidade hospitalar (LAURENT et al., 2007). Isso fica evidenciado ao avaliar a correlação entre IDHM, medianas anuais de internações hospitalares e variáveis ambientais (Figura 13), onde foi identificada a relação inversa entre o índice social e a incidência de doenças na população, com DCV apresentando uma correlação de -0.41 ( $p<0.05$ ) e DSR relação de -0.46 ( $p<0.05$ ). Ainda é possível identificar a relação positiva entre IDHM e poluentes atmosféricos como O<sub>3</sub> (0.21  $p<0.05$ ), NO<sub>2</sub> (0.36  $p<0.05$ ) e CO (0.27  $p<0.05$ ), reforçando os resultados apresentados na Figura 11, onde os poluentes NO<sub>2</sub> e CO apresentam diferença real entre as médias de concentração de poluentes.

Figura 13 - Matriz de correlação medias anuais de doença cardiovascular (DCV), doença do sistema respiratório (DSR), temperatura (T), umidade específica (Q), altura da camada limite planetária (ACLP) e concentração de poluentes atmosféricos de CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e ARSL. Números em cinza não apresentam significância estatística. Tons de azul apresentam correlações negativas, tons de vermelho representam correlações positivas.



Fonte - Elaborado pelo autor (2021).

As cidades foram reunidas em 3 grupos, utilizando as faixas de IDHM como fator de agrupamento. Assim, foi construída novamente a tabela de correlação, para cada um dos agrupamentos. Dessa maneira foi possível verificar a relação entre as variáveis ambientais (meteorológicas e de poluição) com as hospitalizações em Santa Catarina, sem a influência do fator social (Figura 14).

As correlações do grupo com menor índice de IDHM (Figura 14 a) mostram que temperaturas menores, tempo mais seco e menor altura da camada limite foram relevantes para a ocorrência das internações hospitalares. Para DSR foram encontradas relações negativas com todas as variáveis meteorológicas analisadas. Isso não aconteceu para DCV nessa faixa de IDH, em que as relações não foram significativas.

As condições meteorológicas apresentaram maior efeito sobre a saúde quando o IDHM é maior (Figura 14) assim as correlações das cidades de IDHM alto apresentam relações

negativas entre DSR e DCV com variáveis meteorológicas. O mesmo ocorreu no grupo de cidades com IDHM muito alto. Isso indica que, em municípios de IDH mais baixo, fatores que não foram analisados nesse estudo têm maior influência nas internações, como o local de residência e alimentação (VALLERO, 2014).

Os resultados apresentados nesse trabalho relacionam os meses com menor temperatura e tempo mais seco com maior número de internações por DCV e por DSR Figura 14. Correlações negativas entre morbidade, temperatura e umidade já haviam sido apontadas na literatura. Mäkinen *et al.* (2009) demonstram que temperaturas baixas quando associadas a situações de tempo seco aumentam o risco de internações na Finlândia. Giang *et al.* (2014) apontam que os efeitos acumulados das baixas temperaturas oferecem risco de aumento da morbidade hospitalar por DCV, com redução de 1°C representando um aumento no risco de internações em 1.12%. Já Tsangari *et al.* (2016) associam o aumento de internações por DCV e DSR a dias frios, nublados e chuvosos, mas também com dias quentes e com alta umidade atmosférica, apontando que extremos de temperatura e umidade, altas ou baixas, podem contribuir com o aumento das internações. Os resultados de Gasparrini *et al.* (2015) mostraram resultados semelhantes, mas para mortalidade. Ao avaliar o comportamento das mortes em 384 cidades ao redor do mundo, demonstra que temperaturas mais quentes ou frias resultam em aumento do número de mortos, porém, apontando temperaturas menores como fator de maior risco a saúde humana, com resultados mais ou menos significativos a depender das populações analisadas e sua adaptação climática.

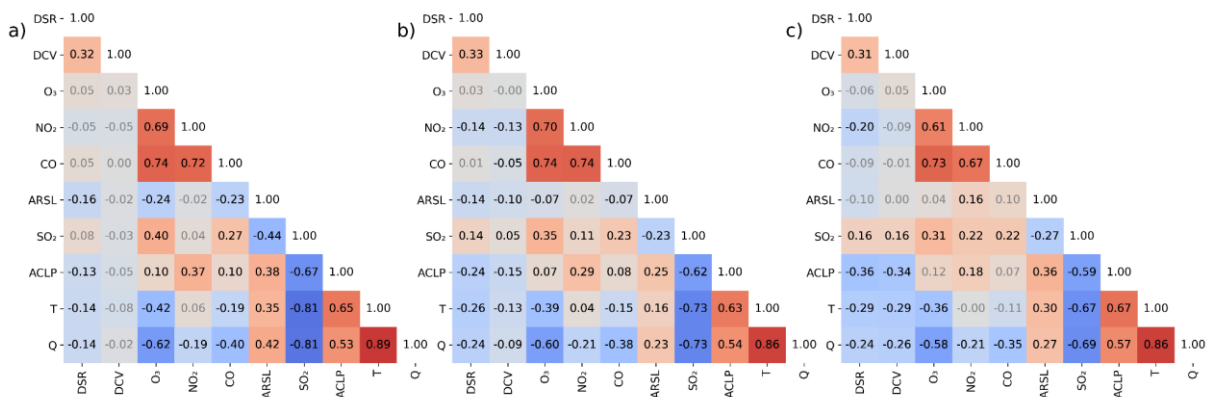
O SO<sub>2</sub> se mostrou como o único poluente atmosférico que afeta as internações hospitalares em Santa Catarina (Figura 14). Apresentando correlações negativas nas cidades de IDHM alto e muito alto, não apresentando, porém, significância estatística para municípios de IDH médio. De maneira similar, Laurent *et al.* (2007) demonstram que grupos com diferentes condições socioeconômicas apresentam respostas diferentes a poluição atmosférica. (Miri *et al.* (2016) apontam que o incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> nas concentrações de SO<sub>2</sub> aumenta o risco de Infarto Agudo do Miocárdio (IAM) em 1,57% e de 1,09% nas internações por doença de obstrução pulmonar crônica no Iran. Amsalu *et al.* (2019) tem resultados semelhantes. Em seu estudo realizado em Pequim, aponta que o risco de internações hospitalares por DCV aumenta entre 1,38% e 1,69%, a depender da enfermidade, para um acréscimo de 10 µg/m<sup>3</sup> na concentração desse poluente em exposições de curto prazo.

A altura da camada limite, além das internações, parece inversamente correlacionada com a densidade média de SO<sub>2</sub> em Santa Catarina (Figura 14). Ela pode limitar o transporte e

a difusão de poluentes na atmosfera (HAN et al., 2017), controlando o destino das plumas de poluentes (BHAGANAGAR; BHIMIREDDY, 2020) e, assim, pode contribuir para o aumento da concentração dos poluentes próximos a biosfera, afetando assim a saúde humana.

Os resultados encontrados de relação entre altura da camada limite e  $\text{NO}_2$  não eram esperados, uma vez que a incidência de radiação solar contribui para o aumento da altura da camada limite e esgotamento do  $\text{NO}_2$  atmosférico (ZORAN et al., 2020). Do mesmo modo, a relação negativa entre  $\text{NO}_2$  e internações hospitalares não era previsível. O estudo de QIU *et al.* (2018), porém, aponta  $\text{NO}_2$  como um possível fator de confusão, por estar fortemente correlacionado com MP. Nesse estudo não analisamos MP, pois esse dado não está contido na base de dados utilizada. Assim a análise do  $\text{NO}_2$  pode estar comprometida.

Figura 14 - Matrizes de correlação usando valores das médias mensais de doença cardiovascular (DCV), doença do sistema respiratório (DSR), temperatura (T), umidade específica (Q), altura da camada limite planetária (ACLP) e percentil 90 mensal das concentrações de poluentes atmosféricos  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , CO,  $\text{SO}_2$  e Aerossol. Números em cinza não apresentam significância estatística. Tons de azul apresentam correlações negativas, tons de vermelho representam correlações positivas. a) municípios de IDH-m ( $0,6 < \text{IDH} < 0,7$ ), b) municípios de IDH-a ( $0,7 < \text{IDH} < 0,8$ ), c) municípios de IDH-ma ( $\text{IDH} > 0,8$ ).



Fonte - Elaborado pelo autor (2021).

Esse estudo tem suas principais limitações ao não analisar fatores de sensibilidade como idade, gênero e hábitos alimentares e não ter dados meteorológicos medidos em campo, limitando-se a usar estimativas modeladas com WRF. A validação dos dados de poluição atmosférica comparando com estações de referência não foi realizada, principalmente por não haver esse tipo de estação no estado. O tempo de análise se limitou ao ano de 2019, pois os dados do Sentinel-5p estão disponíveis apenas a partir do final de 2018, e, devido a ocorrência da pandemia de Sars-cov-2 em 2020, fica comprometida a análise de internações cardiorrespiratórias para esse ano, visto a mudança no perfil de ocorrência das doenças e

internações. Além disso o estudo se limitou ao estado de Santa Catarina no Sul do Brasil. Outra limitação foi o indicador de vulnerabilidade social, que devido a sua elaboração a cada 10 anos e sua restrição a somente três fatores pode não ser o mais adequado.

## 5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram avaliados o efeito das condições socioeconômicas, dos parâmetros meteorológicos e da poluição atmosférica sobre as DCV (Doenças cardiovasculares) e DSR (Doenças do sistema respiratório). Para isso, combinamos dados de densidade média de poluentes na camada troposférico obtidas pelo satélite Sentinel-5p, saídas do modelo meteorológicos WRF e o IDHM como índice socioeconômico em nível municipal.

Os resultados aqui apresentados revelaram que a condição social desempenha um papel importante na hospitalização relacionada à poluição atmosférica no sul do Brasil. Municípios com maior IDHM possuem maiores níveis de poluição, principalmente por causa das emissões veiculares e industriais nessas localidades. Porém esses municípios apresentam menores taxas de internação hospitalar por DCV e DSR quando comparados a municípios com IDHM menor. Isso sugere que populações com maior nível educacional, mais acesso a saúde e melhor renda conseguem responder melhor aos fatores geradores de doença. E mostrando que a poluição atmosférica não é o fator que mais afeta as internações DCV e DSR em Santa Catarina.

Foram identificadas relações fracas entre  $SO_2$ , temperatura, umidade específica e altura da camada limite com as internações hospitalares por DCV e DSR, mas somente quando agrupamos os municípios na mesma faixa de IDHM.

Os dados de satélite e modelagem permitiram a análise em nível municipal, indicando que a utilização dessas fontes de dado pode ser uma alternativa quando há ausência de dados em resolução adequada.

Esse trabalho encontrou limitações no conjunto de dados, principalmente dados de poluição atmosférica. Sendo utilizado somente um ano de dados. Dessa é sugerido que trabalhos futuros usem um conjunto de dados maior, incluindo dados de longo prazo, localidades de todo o país, efeitos crônicos e outros fatores geradores de vulnerabilidade como genética, faixa etária, gênero, raça e comorbidades. Assim, fica evidenciado que o conhecimento das condições socioeconômicas é um elemento chave para melhor alocação de recursos e prevenção da morbidade por DCV e DSR no sul do Brasil.



## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMANTINO MONTEIRO, M. Caracterização climática do Estado de Santa Catarina: Uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, v. 16, n. 31, p. 69–78, 2001.
- AMSALU, E. et al. Short-term effect of ambient sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) on cause-specific cardiovascular hospital admission in Beijing, China: A time series study. **Atmospheric Environment**, v. 208, n. 10, p. 74–81, 2019.
- ANDREÃO, W. L.; TOLEDO DE ALMEIDA ALBUQUERQUE, T. Avoidable mortality by implementing more restrictive fine particles standards in Brazil: An estimation using satellite surface data. **Environmental Research**, v. 192, n. September 2020, 2021.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera Tempo e Clima**. [s.l: s.n.].
- BHAGANAGAR, K.; BHIMIREDDY, S. Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID- 19 . The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect , the company ' s public news and information . n. January, 2020.
- CAKMAK, S. et al. The modifying effect of socioeconomic status on the relationship between traffic , air pollution and respiratory health in elementary schoolchildren. **Journal of Environmental Management**, v. 177, p. 1–8, 2016.
- CAVALCANTI, IRACEMA FONSECA DE ALBUQUERQUE; FERREIRA, NELSON JESUS; DA SILVA, MARIA GERTRUDES ALVAREZ JUSTI; DIAS, M. A. F. DA SILVA. **Tempo e Clima no Brasil**, 2009.
- CHEN, C. et al. Risk of temperature , humidity and concentrations of air pollutants on the hospitalization of AECOPD. **PLoS ONE** 14, p. 1–14, 2019.
- CHENG, J. et al. Impact of diurnal temperature range on human health: a systematic review. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 9, p. 2011–2024, 2014.
- CLOUGHERTY, J. E. A growing role for gender analysis in air pollution epidemiology. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n. 2, p. 167–176, 2010.
- CORDER, G. W.; FOREMA, D. I. **NONPARAMETRIC STATISTICS FOR NON-STATISTICIANS**. New Jersey: A JOHN WILEY & SONS, INC., 2009.
- EBISU, K. et al. Age-specific seasonal associations between acute exposure to PM<sub>2.5</sub>

sources and cardiorespiratory hospital admissions in California. **Atmospheric Environment**, v. 218, n. April, p. 117029, 2019.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe. n. 22, p. 1--102, 2018.

FENG, S. et al. The health effects of ambient PM<sub>2.5</sub> and potential mechanisms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 128, p. 67–74, 2016.

FERNANDES, L. G.; RODRIGUES, R. R. Changes in the patterns of extreme rainfall events in Southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 3, p. 1337–1352, 2018.

FREITAS, M. C. et al. Effect of particulate matter, atmospheric gases, temperature, and humidity on respiratory and circulatory diseases' trends in Lisbon, Portugal. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 162, n. 1–4, p. 113–121, 2010.

GAO, Y. et al. Adverse effect of outdoor air pollution on cardiorespiratory fitness in Chinese children. **Atmospheric Environment**, v. 64, n. 2, p. 10–17, 2013.

GASPARRINI, A. et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature : a multicountry observational study. **The Lancet**, p. 369–375, 2015.

GIANG, P. N. et al. The effect of temperature on cardiovascular disease hospital admissions among elderly people in Thai Nguyen Province, Vietnam. **Global Health Action**, v. 7, n. 1, p. 1–7, 2014.

GIRÃO, Í. R. F. D. R. R. M. E. Z. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. 0, p. 71–83, 2018.

GLANTZ, S. A. **Princípios de Bioestatística**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2014. v. 1

GONÇALVES, F. L. T. et al. Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of São Paulo. **Environmental Research**, v. 104, n. 2, p. 275–281, 2007.

GRIFFIN, D. et al. High-Resolution Mapping of Nitrogen Dioxide With TROPOMI: First Results and Validation Over the Canadian Oil Sands. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 2, p. 1049–1060, 2019.

GRYPARIS, A. et al. Acute effects of ozone on mortality from the “Air Pollution and Health: A European Approach” project. **American Journal of Respiratory and Critical Care**

**Medicine**, v. 170, n. 10, p. 1080–1087, 2004.

GUYTON, H. **Textbook of Medical Physiology**. [s.l: s.n.].

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. As análises preliminares para o desempenho deste índice indicam adequação de sua formulação para o tipo de simulação efetuada. Palavras-chave : tempestades, simulações numéricas de mesoescala, erros de fase e amplitude, índices de acurácia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 591–608, 2011.

HAN, Z. et al. Projected changes in haze pollution potential in China: An ensemble of regional climate model simulations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 17, n. 16, p. 10109–10123, 2017.

HARRIS, L. M.; DURRAN, D. R. An Idealized Comparison of One-Way and Two-Way Grid Nesting. **Monthly Weather Review**, v. 138, n. 6, p. 2174–2187, 2010.

HARTMANN, D. L. **Physical Global Climatology**. [s.l: s.n.].

HASLWANTER, T. **An Introduction to Statistics with Python. With Applications in the Life Sciences. Statistics in Computing Series (SCO)**. [s.l: s.n.].

HO, H. C. et al. Influences of socioeconomic vulnerability and intra-urban air pollution exposure on short-term mortality during extreme dust events. **Environmental Pollution**, v. 235, p. 155–162, 2018.

HU, X. M. et al. Impact of the vertical mixing induced by low-level jets on boundary layer ozone concentration. **Atmospheric Environment**, v. 70, p. 123–130, 2013.

HUYNEN, M. M. T. E. et al. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, n. 5, p. 463–470, 2001.

IALONGO, I. et al. Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO<sub>2</sub> observations with ground-based measurements in Helsinki. **Atmospheric Measurement Techniques**, v. 13, n. 1, p. 205–218, 2020.

IBGE. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. [s.l: s.n.].

IKÄHEIMO, T. M. et al. Cold weather-related cardiorespiratory symptoms predict higher morbidity and mortality. **Environmental Research**, v. 191, 2020.

JIAO, K.; XU, M.; LIU, M. Health status and air pollution related socioeconomic concerns in urban China. **International Journal for Equity in Health**, v. 17, n. 1, p. 1–11, 2018.

JO, E. J. et al. Effects of particulate matter on respiratory disease and the impact of meteorological factors in Busan, Korea. **Respiratory Medicine**, v. 124, p. 79–87, 2017.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, n. 2, p. 362–367, 2008.

KRALL, J. R. et al. A multicity study of air pollution and cardiorespiratory emergency department visits: Comparing approaches for combining estimates across cities. **Environment International**, v. 120, n. August, p. 312–320, 2018.

KRUIZE, H. On environmental equity. **Nederlandse Geografische Studies**, n. 359, p. 1–219, 2007.

KUMAR, A.; ATTRI, A. K. Correlating respiratory disease incidences with corresponding trends in ambient particulate matter and relative humidity. **Atmospheric Pollution Research**, v. 7, n. 5, p. 858–864, 2016.

LAURENT, O. et al. Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 61, n. 8, p. 665–675, 2007.

LEITTE, A. M. et al. Respiratory health, effects of ambient air pollution and its modification by air humidity in Drobeta-Turnu Severin, Romania. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 13, p. 4004–4011, 2009.

MÄKINEN, T. M. et al. Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. **Respiratory Medicine**, v. 103, n. 3, p. 456–462, 2009.

MANAN, N. A.; AIZUDDIN, A. N.; HOD, R. Effect of Air Pollution and Hospital Admission : A Systematic Review. v. 84, n. 4, p. 670–678, 2018.

MARTI-SOLER, H. et al. Seasonality of cardiovascular risk factors: An analysis including over 230 000 participants in 15 countries. **Heart**, v. 100, n. 19, p. 1517–1523, 2014.

MEADE, M.; EMCH, M. **Medical Geography**. 3rd ed. ed. New York: The Guilford Press, 2010.

MIRI, M. et al. Mortality and morbidity due to exposure to outdoor air pollution in Mashhad metropolis, Iran. The AirQ model approach. **Environmental Research**, v. 151, p. 451–457, 2016.

MMM. **MMM: Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory**. Disponível em: <<https://www.mmm.ucar.edu/>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

MORAES, S. L. DE et al. 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, n. 7, p. 1–16, 2019.

NETTO, G. F.; CARMO, E. H. **Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil.** [s.l: s.n.].

PHOSRI, A.; SIHABUT, T.; JAIKANLAYA, C. Short-term effects of diurnal temperature range on hospital admission in Bangkok, Thailand. **Science of the Total Environment**, v. 717, p. 137202, 2020.

PINO-CORTÉS, E. et al. Effect of socioeconomic status on the relationship between short-term exposure to PM<sub>2.5</sub> and cardiorespiratory mortality and morbidity in a megacity: the case of Santiago de Chile. **Air Quality, Atmosphere and Health**, v. 13, n. 5, p. 509–517, 2020.

QIU, H. et al. The burden of overall and cause-specific respiratory morbidity due to ambient air pollution in Sichuan Basin, China: A multi-city time-series analysis. **Environmental Research**, v. 167, n. June, p. 428–436, 2018.

QUINN, S. C.; KUMAR, S. Health inequalities and infectious disease epidemics: A challenge for global health security. **Biosecurity and Bioterrorism**, v. 12, n. 5, p. 263–273, 2014.

RAASCHOU-NIELSEN, O. et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: Prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). **The Lancet Oncology**, v. 14, n. 9, p. 813–822, 2013.

REQUIA, W. J. et al. Association between vehicular emissions and cardiorespiratory disease risk in Brazil and its variation by spatial clustering of socio-economic factors. **Environmental Research**, v. 150, p. 452–460, 2016.

RIGHINI, G. et al. GIS based assessment of the spatial representativeness of air quality monitoring stations using pollutant emissions data. **Atmospheric Environment**, v. 97, p. 121–129, 2014.

ROCHA, I. DE O. **Atlas geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza – Fascículo 2.** [s.l: s.n.].

ROCHA, I. DE O. **Atlas Geográfico de Santa Catarina: população – fascículo 3.** [s.l: s.n.].

SANTRA, S. Is Human Development Index ( HDI ) a reflector of quality of air ? a comparative countries Is Human Development Index ( HDI ) a Reflector of Quality of Air ? A Comparative Study on Developed and Developing Countries. n. 53522, p. 0–6, 2014.

SCHULZWEIDA, U. CDO User Guide. n. October, p. 1–206, 2019.

SCHWARTZ, J.; SAMET, J. M.; PATZ, J. A. Hospital admissions for heart disease: The effects of temperature and humidity. **Epidemiology**, v. 15, n. 6, p. 755–761, 2004.

SHAH, A. S. V. et al. Global association of air pollution and heart failure: A systematic review and meta-analysis. **The Lancet**, v. 382, n. 9897, p. 1039–1048, 2013.

SICARD, P. et al. Air quality trends and potential health effects - Development of an aggregate risk index. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 5, p. 1145–1153, 2011.

SKAMAROCK, W. C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. **NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR**, p. 145, 2019.

STRAK, M. et al. Associations between lifestyle and air pollution exposure: Potential for confounding in large administrative data cohorts. **Environmental Research**, v. 156, n. March, p. 364–373, 2017.

TORO A, R. et al. Exploring atmospheric stagnation during a severe particulate matter air pollution episode over complex terrain in Santiago, Chile. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 705–714, 2019.

TSANGARI, H. et al. Extreme weather and air pollution effects on cardiovascular and respiratory hospital admissions in Cyprus. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 247–253, 2016.

TUNA TUYGUN, G.; ELBIR, T. Long-term temporal analysis of the columnar and surface aerosol relationship with planetary boundary layer height at a southern coastal site of Turkey. **Atmospheric Pollution Research**, v. 11, n. 12, p. 2259–2269, 2020.

VALLERO, D. **Fundamentals of Air Pollution**. [s.l: s.n.]. v. 53

VINIKOOR-IMLER, L. C. et al. Evaluating potential response-modifying factors for associations between ozone and health outcomes: A weight-of-evidence approach. **Environmental Health Perspectives**, v. 122, n. 11, p. 1166–1176, 2014.

VRIJHEID, M. et al. Environmental pollutants and child health-A review of recent concerns. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 219, n. 4–5, p. 331–342, 2016.

WEI, W. et al. Intermittent turbulence contributes to vertical dispersion of PM<sub>2.5</sub> in the North China Plain: Cases from Tianjin. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, n. 17, p. 12953–12967, 2018.

WHO. **O Impacto Global da Doença Respiratória**. [s.l: s.n.].

WILL, R.; HOINASKI, L. **ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE WRF MODEL IN HIGH LATITUDE REGION OF THE SOUTHERN HEMISPHERE**. Chapel Hill, NC: 2020Disponível em: <<https://www.cmascenter.org/conference/2020/abstracts/RobsonWill-2020.pdf>>

XU, G. et al. Impact of heatwaves and cold spells on the morbidity of respiratory diseases: A case study in Lanzhou, China. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 115, n. October 2019, p. 1–7, 2019.

YATKIN, S. et al. Representativeness of an air quality monitoring station for PM<sub>2.5</sub> and source apportionment over a small urban domain. **Atmospheric Pollution Research**, v. 11, n. 2, p. 225–233, 2020.

ZHANG, Y. et al. Vertical wind shear modulates particulate matter pollutions: A perspective from radarwind profiler observations in Beijing, China. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, 2020.

ZORAN, M. A. et al. Assessing the relationship between ground levels of ozone (O<sub>3</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy. **Science of the Total Environment**, v. 740, p. 140005, 2020.

## APÊNDICE A

INÍCIO	FIM	DESCRIÇÃO
I00	I02	Febre reumática aguda
I05	I09	Doenças reumáticas crônicas do coração
I10	I15	Doenças hipertensivas
I20	I25	Doenças isquêmicas do coração
I26	I28	Doenças cardíaca pulmonar e da circulação pulmonar
I30	I52	Outras formas de doença do coração
I60	I69	Doenças cerebrovasculares
I70	I79	Doenças das artérias, das arteríolas e dos capilares
I80	I89	Doenças das veias, dos vasos linfáticos e dos gânglios linfáticos, não classificadas em outra parte
I95	I99	Outros transtornos, e os não especificados do aparelho circulatório
J00	J06	Infecções agudas das vias aéreas superiores
J09	J18	Influenza [gripe] e pneumonia
J20	J22	Outras infecções agudas das vias aéreas inferiores
J30	J39	Outras doenças das vias aéreas superiores
J40	J47	Doenças crônicas das vias aéreas inferiores
J60	J70	Doenças pulmonares devidas a agentes externos
J80	J84	Outras doenças respiratórias que afetam principalmente o interstício
J85	J86	Afecções necróticas e supurativas das vias aéreas inferiores
J90	J94	Outras doenças da pleura
J95	J99	Outras doenças do aparelho respiratório



ANEXO A

Figura 15 - Mosaico da mediana das taxas de morbidade hospitalar por DSR e DCV. Agrupamentos por faixas de percentil dos parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade específica, Altura da camada limite). Percentil, percentil de densidade média dos poluentes atmosféricos (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Aerossol) e grupos de IDHM. IDH-m (0,6<IDH<0,7), IDH-a (0,7<IDH<0,8), IDH-ma (IDH>0,8).

