

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MARIA REJANE FARIAS DOS SANTOS

**PADRÕES DA QUALIDADE DO AR DURANTE A PARALISAÇÃO NACIONAL DOS
CAMINHONEIROS NO ANO DE 2018, NO MUNICÍPIO DE CANOAS - RS**

PORTO ALEGRE, SETEMBRO DE 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**PADRÕES DA QUALIDADE DO AR DURANTE A PARALISAÇÃO NACIONAL DOS
CAMINHONEIROS NO ANO DE 2018, NO MUNICÍPIO DE CANOAS - RS**

MARIA REJANE FARIAS DOS SANTOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. FRANCISCO ELISEU AQUINO

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luis Alberto Basso

Profa. Dra. Lucimar de Fátima dos Santos Vieira

Profa. Dra. Venisse Schossler

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Geografia como
requisito para obtenção do título de
Mestre em Geografia.**

PORTO ALEGRE, SETEMBRO DE 2020

CIP - Catalogação na Publicação

SANTOS, MARIA REJANE FARIAS
PADRÕES DA QUALIDADE DO AR DURANTE A PARALISAÇÃO
NACIONAL DOS CAMINHONEIROS NO ANO DE 2018, NO
MUNICÍPIO DE CANOAS- RS / MARIA REJANE FARIAS SANTOS.
-- 2020.
86 f.
Orientador: FRANCISCO ELISEU AQUINO.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,
2020.

1. Monóxido de carbono. 2. Dióxido de enxofre. 3.
Material particulado 10. I. AQUINO, FRANCISCO ELISEU,
orient. II. Título.

...“O ar é precioso para o homem vermelho, pois todas as coisas compartilham o mesmo sopro. Parece que o homem branco não sente o ar que respira.”

Resposta do Chefe Seattle ao presidente dos Estados Unidos, em 1854 em resposta a proposta de compra de grande parte de suas terras.

Dedico este trabalho a todas as pessoas que
lutam pela preservação ambiental.

Agradecimentos

Agradeço à UFRGS e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade de usufruir de um ensino de excelência.

Mais que gratidão, quero dividir essa conquista com meu orientador professor Dr. Francisco Eliseu Aquino. Muito obrigada por toda dedicação, paciência, parceria, incentivo, além do aprendizado em Geografia. Acredito que unimos um pouco da Biologia com a Geografia.

Minha gratidão à Aline Gomes Goulart importante ajuda e por ganhar esta grande amiga, através do mestrado.

Gratidão ao Denilson Ribeiro Viana pelas ótimas contribuições e por ter participado como examinador na qualificação.

Agradeço ao professor Nelson Luis Sambaqui Gruber pela participação como examinador na qualificação.

Agradecimento ao Pedro Reis e Ronaldo Torma Bernardo pela ajuda.

Ao meu esposo Gilson e meus filhos Carolina, Eduardo e Pedro agradecimento por todo apoio e contribuição recebidos.

Gratidão ao Marcio Vargas, chefe da divisão de monitoramento ambiental da FEPAM pela pronta disponibilidade nas inúmeras vezes em que dele necessitei para o acesso dos dados de monitoramento da qualidade do ar.

Agradecimentos ao Cristiano Keil, coordenador do Serviço de Meio Ambiente e Saúde e ao Fernando Rabelo, engenheiro de meio ambiente da REFAP, pela disponibilidade dos dados do monitoramento do ar.

Gratidão a Renata Zientarski Fernandes por seu trabalho como advogada nas vistas ao processo da empresa Gerdau junto à FEPAM.

Gratidão a professora Dra. Lucimar de Fátima dos Santos Vieira e a minha psicóloga Eliana Bittencourt pelo incentivo em realizar o mestrado.

Meu agradecimento a inúmeras pessoas que me incentivaram, ao longo do período da realização dessa dissertação.

Aos meus pais Jovelino (in memoriam) e Marina e a Deus, minha eterna gratidão por fazerem parte da minha caminhada.

Resumo

O ar é imprescindível à sobrevivência da espécie humana. No ar além da presença dos gases benéficos podem estar presentes poluentes. Muitos poluentes atmosféricos não são percebidos por nossos órgãos dos sentidos. A OMS em seu relatório do ano de 2018, estima que globalmente 7 milhões de pessoas morram anualmente em decorrência da poluição atmosférica. Destes 7 milhões, 50 mil são no Brasil. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece padrões de qualidade de ar para alguns poluentes atmosféricos e cabe ao estado o monitoramento do ar, através da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM). Entretanto muitas estações de monitoramento estão inoperantes em municípios com expressiva atividade industrial poluidora. Durante o período de 21 a 31 de maio de 2018 ocorreu a paralisação nacional dos caminhoneiros, com reivindicação da diminuição do preço do óleo diesel. Os objetivos desta dissertação é avaliar a possível influência da paralisação dos caminhoneiros, nos padrões de qualidade do ar no município de Canoas-RS. Realizou-se levantamento e análise das concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado 10µm (MP₁₀) da estação de monitoramento Canoas- Parque Universitário. Foram realizadas médias das concentrações dos poluentes para o período da paralisação e para os períodos anterior e posterior à mesma. Conclui-se que as concentrações do SO₂ diminuíram 35,7% no período da paralisação em relação ao período anterior. As concentrações do CO aumentaram 19,3% e do MP₁₀ aumentaram 13,9%, mesmo com a atmosfera sendo lavada na véspera do evento, pois choveu nos dias 18 e 19 de maio 82,4% do esperado para o mês de maio. A significativa diminuição do tráfego veicular, durante a paralisação e o aumento das concentrações de CO e MP₁₀ sugerem que as fontes fixas sejam as prováveis responsáveis por tais aumentos. Reforçando a sugestão, o estudo da Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul sobre o índice de potencial poluidor da indústria no Estado, aponta o município de Canoas com os maiores índices no período de 2002-2015, exceto no ano de 2004.

Palavras-chave: Monóxido de carbono, dióxido de enxofre, material particulado 10.

Abstract

Air is essential for the survival of the human species. In the air in addition to the presence of beneficial gases, pollutants may be present. Many air pollutants are not perceived by our sense organs. The WHO in its 2018 report estimates that globally 7 million people die each year from air pollution. Of these 7 million, 50 thousand are in Brazil. The National Environment Council (CONAMA) establishes air quality standards for some air pollutants and the state is responsible for monitoring the air, through the Henrique Luís Roessler State Environmental Protection Foundation (FEPAM). However, many monitoring stations are inoperative in municipalities with significant industrial polluting activity. During the period from 21 to 31 May 2018, there was a national stoppage of truck drivers, with demands for a decrease in the price of diesel oil. The objective of this dissertation is to evaluate the possible influence of the truck driver's strike, which occurred between May 21 to 31, 2018, on the air quality standards in the municipality of Canoas-RS. A survey and analysis of the concentrations of carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂) and particulate matter 10 μ m (PM₁₀) were carried out at the Canoas-Parque Universitário monitoring station. The pollutant concentrations were averaged for the strike period and for the periods before and after it. It is concluded that the concentrations of SO₂ decreased by 35.7% in the period of stoppage in relation to the previous period. CO concentrations increased by 19.3% and PM₁₀ increased by 13.9%, even though the atmosphere was being washed the day before the event, as it rained on May 18 and 19, 82.4% of what was expected for the month of May. The significant decrease in vehicular traffic during the strike and the increase in the concentrations of CO and PM₁₀ suggest that fixed sources are likely to be responsible for such increases. Reinforcing the suggestion, the study of the Siegfried Emanuel Heuser Foundation of Economics and Statistics of the State of Rio Grande do Sul on the index of polluting potential of industry in the State, points out the municipality of Canoas with the highest indexes in the period of 2002-2015, except in the year of 2004.

Keywords: carbon monoxide, sulfur dioxide, particulate matter 10

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Relevância do Estudo.....	18
1.2 Objetivo Geral.....	20
1.2.1 Objetivos específicos.....	20
1.3 Área de Estudo.....	20
2 QUALIDADE DO AR E CIDADES	22
2.1 Nossa atmosfera.....	22
2.1.1 Composição da atmosfera.....	23
2.1.2 Influência das condições atmosféricas na qualidade do ar.....	25
2.2 Poluição atmosférica.....	28
2.3 Clima urbano.....	31
2.4 Monitoramento da qualidade do ar.....	33
2.5 Padrões de qualidade do ar.....	36
3 CARACTERÍSTICAS ATMOSFÉRICAS DO SUL DO BRASIL	43
3.1 Caracterização climática do Rio Grande do Sul.....	43
3.2 Circulação atmosférica no Rio Grande do Sul.....	44
3.3 Clima da Região Metropolitana de Porto Alegre.....	47
4 MÉTODO E TÉCNICAS	52
4.1 Estação de monitoramento da qualidade do ar Canoas - Parque Universitário	52
4.2 Emissões dos poluentes atmosféricos da REFAP.....	53
4.3 Emissões dos poluentes atmosféricos da Gerdau.....	54
4.4 Precipitação em Porto Alegre.....	54
4.5 Campos das anomalias de temperatura do ar e vetor vento.....	54
4.6 Combustíveis veiculares e suas composições.....	55
4.7 Índice de potencial poluidor da indústria no Rio Grande do Sul.....	55

5 RESULTADOS	56
5.1 Concentrações dos poluentes da estação Canoas- Parque Universitário.	56
5.2 Identificação das emissões da REFAP.....	67
5.3 Identificação das emissões da Gerdau.....	68
5.4 Precipitação de maio/2018 no município de Porto Alegre.....	70
5.5. Comportamento da atmosfera na área de estudo.....	71
5.6 Evolução dos combustíveis rodoviários no Brasil.....	73
5.7 Índice de potencial poluidor da indústria no Rio Grande do Sul.....	75
6 CONCLUSÕES	79
7 REFERÊNCIAS	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Linha do tempo da paralisação nacional dos caminhoneiros.....	17
Figura 2- Localização do município de Canoas, RS.....	21
Figura 3- Localização dos pontos de coletas dos dados da qualidade do ar.....	52
Figura 4- Médias das concentrações do monóxido de carbono (ppm) nos períodos anterior e posterior e durante a paralisação dos caminhoneiros, na estação Canoas.	58
Figura 5- Médias das concentrações do dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.....	60
Figura 6- Médias das concentrações do material particulado 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.....	62
Figura 7- Médias das concentrações do CO (ppm) nos meses de maio de 2006- 2019 e durante a paralisação, na estação Canoas.....	64
Figura 8- Médias das concentrações do SO ₂ , nos meses de maio de 2005- 2019 e durante a paralisação, na estação Canoas.....	65
Figura 9- Médias das concentrações de MP ₁₀ , nos meses de maio de 2006- 2019 e durante a paralisação, na estação Canoas.....	66
Figura 10- Normais Climatológicas de precipitação 1931-1960 e 1961-1990 para Porto Alegre.....	71
Figura 11- Campos de anomalia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e vetor vento (m s^{-1}) em maio de 2018, na área de estudo.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição da atmosfera terrestre.....	23
Tabela 2- Métodos de medição dos poluentes na Rede Automática.....	35
Tabela 3- Evolução da frota total de veículos e caminhões no estado do Rio Grande do Sul.....	36
Tabela 4- Padrões de Qualidade do Ar - Res. CONAMA 03/90.....	38
Tabela 5- Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações- Resolução CONAMA 03/90.....	39
Tabela 6- Padrões de Qualidade do Ar- Res. CONAMA 491/18.....	40
Tabela 7- Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações -Res. CONAMA 491/18.....	41
Tabela 8- Padrão de qualidade boa do ar com respectivo índice e concentrações de poluentes -Res. CONAMA 491/18.....	42
Tabela 9- Elementos climáticos do município de Porto Alegre.....	48
Tabela 10- Precipitação total média mensal de 1965-1983 em Porto Alegre.....	49
Tabela 11- Precipitação total média mensal em Porto Alegre (1981-2010).....	50
Tabela 12 - -Médias das concentrações do monóxido de carbono (ppm) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.....	57
Tabela 13- Médias das concentrações do dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.....	59
Tabela 14- Médias das concentrações do MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.....	61
Tabela 15- Médias das concentrações do CO , SO_2 e MP_{10} nos meses de maio 2005 a maio 2019 e no período da paralisação, na estação Canoas.....	63
Tabela 16- Concentrações horárias do MP_{10} em junho/2018, na estação Canoas.....	66
Tabela 17- Emissões dos poluentes atmosféricos da REFAP ($\text{T m\text{és}}^{-1}$).....	67
Tabela 18- Emissões do Material Particulado da Chaminé de Despoeiramento Shredder, da Gerdau.....	69
Tabela 19-Emissões de Material Particulado do Forno de Recozimento da Chaminé 2, da Gerdau.....	69
Tabela 20- Precipitação em maio/2018 no município de Porto Alegre.....	70

Tabela 21-Teores de biodiesel no óleo diesel, no Brasil.....	73
Tabela 22-Teores de enxofre no óleo diesel, no Brasil.....	74
Tabela 23 - Teores de enxofre nas gasolinas, no Brasil.....	74
Tabela 24- Teores de etanol na gasolina, no Brasil.....	75
Tabela 25- Índice de Potencial Poluidor da Indústria - I, do período de 2002-2015, no Rio Grande do Sul.....	77
Tabela 26- Percentual de Participação do Índice de Potencial Poluidor da Indústria - I, do período de 2002-2015, do município de Canoas, no Rio Grande do Sul.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMP	Anticiclone Móvel Polar
ANP	Agência Nacional do Petróleo
AST	Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CLP	Camada Limite Planetária
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV	Composto Orgânico Volátil
CT	Massa Continental Tropical
DETRAN	Departamento de Trânsito
FEE	Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler
GEE	Gás de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Inpp-I	Índice de Potencial Poluidor na Indústria
IQAr	Índice de Qualidade do Ar
MOP	Matéria orgânica particulada
MP _{2,5}	Material Particulado com diâmetro aerodinâmico de até 2,5 micrômetros
MP ₁₀	Material Particulado com diâmetro aerodinâmico de até 10 micrômetros
mP	Massa Marítima Polar
mT	Massa Marítima Tropical
NCEP	National Center for Environmental Prediction
OMS	Organização Mundial da Saúde
PF	Padrão Final de Qualidade do ar
PI	Padrão Intermediário de Qualidade do Ar
PMM	Precipitação Total Média Mensal
PQAr	Padrões de Qualidade do Ar
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PTS	Partículas Totais em Suspensão
REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SMS	Segurança, Meio Ambiente e Saúde

LISTA DE ELEMENTOS E FÓRMULAS QUÍMICAS

C	Carbono
CFC	Clorofluorcarboneto
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
C ₂ H ₃ O ₅ N	Nitrato de Peroxiacetila
(CH ₃) ₂ S	Dimetil Sulfeto
HCFC	Hidroclorofluorcarbono
HCNM	Hidrocarboneto Não Metano
HFC	Hidroclorocarboneto
HNO ₃	Ácido nítrico
H ₂ O	Água
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
NH ₃	Amoníaco
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
OH	Radical Hidroxila
O ₃	Ozônio
Pb	Chumbo
RCHO	Aldeído
S	Enxofre
SiO ₂	Óxido de silício
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO _x	Óxidos de Enxofre
SO ₄ ⁻²	Sulfato

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

hPa	Hectopascal
mb	Milibar
mg/kg	Miligramas por quilograma
mg/Nm ³	Miligramas por normal metro cúbico
mm	milímetro
m s ⁻¹	metros por segundo
Nm	Nanômetro
Nm ³	Normal por metro cúbico
ppm	partes por milhão
T mês ⁻¹	Toneladas por mês.
µg/m ³	microgramas por metro cúbico
µm	micrômetro

1. INTRODUÇÃO

A espécie humana possui necessidades básicas para sobreviver: ar, água, alimentação, luz solar entre outras. Nosso organismo pode sobreviver um pequeno período sem alimentação, poucos dias sem água, e poucos minutos sem ar. O ar é imprescindível para sobrevivência dos seres vivos pois contém gases necessários à sua respiração, à fotossíntese dos vegetais e aos processos de combustão. Além dos gases benéficos presentes no ar, pode ocorrer a presença de poluentes. Alguns poluentes atmosféricos podem passar despercebidos ao nosso olfato e visão e nossa exposição a eles, na maioria das vezes, ocorre de forma invisível e silenciosa. A visualização e o cheiro da fumaça emitida pelo escapamento de alguns veículos, podem nos servir de alerta sobre a qualidade do ar.

A OMS em seu relatório do ano de 2018, estima que globalmente 7 milhões de pessoas morram anualmente em decorrência da poluição atmosférica. Destes 7 milhões, 50 mil são no Brasil. A poluição atmosférica, no continente americano, é responsável por 35% das mortes por doenças pulmonares, 15% de mortes por doenças cérebro vasculares, 44% de mortes por doenças cardíacas e 6% das mortes por câncer de pulmão. A degradação da qualidade do ar é uma ameaça à saúde humana, especialmente nos centros urbanos.

Há necessidade de estabelecer limites máximos de concentrações dos poluentes atmosféricos. No Brasil, o CONAMA estabelece estes limites através dos padrões de qualidade do ar para alguns poluentes: material particulado 10 μm (MP_{10}), material particulado de 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3), fumaça, monóxido de carbono (CO), partículas totais em suspensão (PTS) e chumbo (Pb). Até a data de 18/11/2018 estes padrões eram estabelecidos pela Resolução Conama 03/1990 que foi revogada pela Res. 491. Os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela OMS, em 2005, indicam que os efeitos deletérios dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana são percebidos em concentrações muito menores que aquelas previstas anteriormente.

Os poluentes são classificados em primários e secundários. Os poluentes primários são emitidos pelas fontes diretamente para o ambiente, como é o caso dos

gases emitidos pelos veículos automotores. Entre eles estão SO_2 , CO , MP , NO_x , SO_x (óxidos de enxofre), hidrocarbonetos (CH_4), fuligem, aldeídos e outros (BAIRD, 2011). Os poluentes secundários resultam de reações entre os poluentes primários com substâncias da baixa atmosfera e radiação solar. Como, por exemplo, a decomposição de NO_x pela radiação ultravioleta solar formando o O_3 e nitratos de peroxiacetila ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_5\text{N}$). Conforme o autor, a maioria das partículas do ar urbano é secundária (BAIRD, 2011).

Segundo Baird (2011) a poluição atmosférica pode ser emitida por fontes móveis e fixas. Nas fontes móveis as emissões são provenientes de fontes em movimento como, por exemplo, veículos automotores, trens, aviões e embarcações marítimas. Nas fixas as emissões são lançadas por um ponto específico, como, por exemplo, as emissões de indústrias.

No Brasil ocorreu a paralisação nacional dos caminhoneiros, no período de 21 a 31 de maio de 2018. As reivindicações da paralisação eram a redução do preço do óleo diesel e a garantia da tabela mínima para os valores do frete. A paralisação dos caminhoneiros mudou completamente a rotina do país mostrando as limitações da logística brasileira e os problemas do predomínio do transporte pelo modal rodoviário. O cenário da paralisação eram longas filas de caminhões parados nas rodovias, em todo o país com bloqueio em algumas rodovias para garantir maior adesão. Muitos setores da economia ficaram desabastecidos como alimentação, combustíveis e falta de matéria-prima para indústrias. A figura 1 mostra a linha do tempo da paralisação nacional dos caminhoneiros.

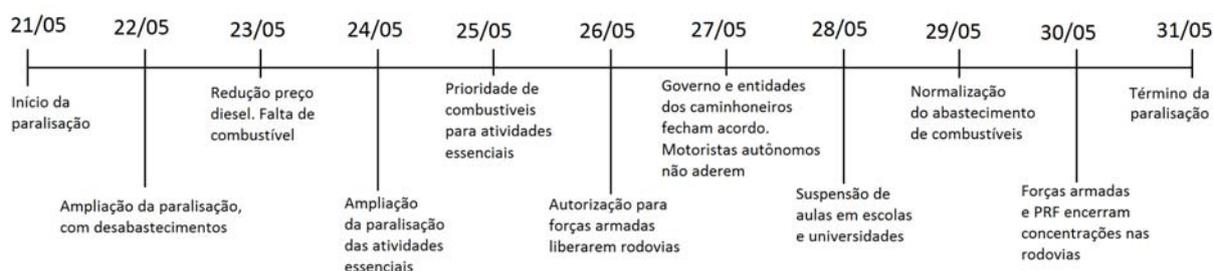


Figura 1: Linha do tempo da paralisação nacional dos caminhoneiros.

Fonte: Autoria própria, adaptado de Gaúcha ZH.

Muitas pesquisas foram realizadas para avaliar a qualidade do ar durante a paralisação dos caminhoneiros. Em São Paulo, o Instituto Saúde e Sustentabilidade realizou a pesquisa intitulada “Relatório de poluição do ar durante a greve dos caminhoneiros no Brasil”. O relatório apresenta decréscimos de até 78% da concentração dos poluentes atmosféricos MP_{2,5}, MP₁₀ e O₃ nos estados de São Paulo e Espírito Santo (VORMITTAG E DELGADO, 2018).

O objetivo do presente trabalho é verificar a possível influência da paralisação nacional dos caminhoneiros, no período de 21 a 31 de maio de 2018, nos padrões de qualidade do ar, no município de Canoas-RS. Os padrões de qualidade do ar avaliados neste trabalho são dos poluentes primários SO₂, CO, MP. Serão analisados dados de uma estação de monitoramento da qualidade do ar e de uma indústria petrolífera, no município de Canoas e de uma indústria siderúrgica no município de Sapucaia do Sul.

1.1 Relevância do estudo

Segundo o 1º Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul, realizado pelo DETRAN (Departamento de Trânsito) com ano base 2009, as principais fontes poluidoras são os veículos automotores e as indústrias. O inventário dividiu o Estado em 8 regiões e aponta RMPA (Região Metropolitana de Porto Alegre) como a responsável por 40% das emissões dos poluentes pela frota veicular e pelas indústrias (DETRAN,2009). Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) do ano de 2019, a cada ano há o aumento e o envelhecimento da frota de veículos no país, contribuindo de maneira significativa para a piora da qualidade do ar.

Nas estimativas do IBGE, do ano de 2020, a população brasileira é de 211.198.403 habitantes, com 84,4% desta população vivendo em cidades. De um total de 6,6 bilhões em 2007, projeta-se que a população mundial aumentará para 8,2 bilhões em 2025, com a proporção da população urbana aumentando de 45 para 60% durante o mesmo período. Assim, neste século, a maior parte da raça humana viverá e trabalhará influenciada pelo clima urbano (BARRY e CHORLEY, 2013). A

urbanização acelerada nos países em desenvolvimento assume contornos alarmantes, sobretudo no que diz respeito à capacidade de suporte do planeta.

O artigo 225 da Constituição Federal Brasileira (1988) assegura que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. Que o meio ambiente é bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida. Impõe ao poder público e a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Além disso, como expresso no parágrafo primeiro, item V, o poder público possui incumbência de controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente. Dessa forma, indo de encontro a legislação brasileira, a competência legal do monitoramento da qualidade do ar é do Estado.

No Rio Grande do Sul, a FEPAM, órgão vinculado à Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura é responsável pelo monitoramento da qualidade do ar. O monitoramento do ar é realizado com base nos dados fornecidos por estações, mantidas por indústrias da RMPA. Há várias estações inoperantes, em municípios com expressiva atividade industrial poluidora, acarretando carências em relação a adoção de políticas públicas relacionadas à saúde pública. Um exemplo, deste cenário é o município de Porto Alegre que carece de dados da qualidade do ar na última década.

A cada ano, exaurimos mais rapidamente o estoque de recursos naturais que deveria estar disponível para a Humanidade para o ano inteiro. O crescimento industrial, a crescente urbanização, o aumento do tráfego automobilístico, o predomínio do transporte de cargas pelo modal rodoviário geram importantes e numerosos impactos ambientais. Esses impactos acarretam a degradação do solo, a poluição hídrica, a poluição atmosférica entre outros. Para termos ciência da qualidade do ar a que estamos expostos, há necessidade de monitorá-lo.

Em algumas ocasiões, ocorre a ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA, então achou-se necessário avaliá-los durante a paralisação nacional dos caminhoneiros, ocorrida em maio/2018, no município de Canoas-RS. Dessa forma, a presente pesquisa justifica-se pela importância do monitoramento contínuo e abrangente da qualidade do ar, no estado do Rio Grande do Sul, pelo poder público, atendendo as normas e resoluções vigentes.

1.2 Objetivo geral

Verificar a possível influência da paralisação nacional dos caminhoneiros, no período de 21 a 31 de maio de 2018, nos padrões de qualidade do ar no município de Canoas– RS.

1.2.1 Objetivos específicos

- 1) Determinar se as concentrações dos poluentes atmosféricos CO, SO₂ e MP₁₀ no período da paralisação, contribuíram para a melhoria da qualidade do ar no município de Canoas-RS;
- 2) Relacionar dados das concentrações dos poluentes atmosféricos no período de 2005 a 2019 com a paralisação dos caminhoneiros (21/05/18 a 31/05/18);
- 3) Identificar parâmetros meteorológicos que possam ter contribuído para a dispersão dos poluentes atmosféricos, durante a paralisação dos caminhoneiros;
- 4) Analisar o índice de potencial poluidor da indústria gaúcha, no período de 2002/ 2015, destacando os municípios com maiores índices.

1.3 Área de estudo

A área de estudo dessa dissertação localiza-se no município de Canoas-RS que está situado na porção leste do Estado, situando-se nas coordenadas 29°55'8" S e 51°10'41" O, 29 m de altitude (Figura 1). Possui uma área de 130,789 km², distribuída em 18 bairros. O município de Canoas pertence à região metropolitana de Porto Alegre, composta por 34 municípios. Os municípios de Canoas e Porto Alegre formam uma região de conurbação e seus limites são divididos pelo rio Gravataí. O município de Canoas possui limites políticos com os municípios de Esteio, Cachoeirinha e Nova Santa Rita. O município apresenta uma densidade demográfica de 2.470,15 habitantes por quilômetro quadrado, com uma população total de 348.208 habitantes, segundo estimativa do Censo demográfico de 2020 (IBGE, 2020). No

município de Canoas encontram-se três rodovias importantes: BR 386, BR 448 e a BR-116. A BR 116 corta o município de Canoas, por onze quilômetros, com um tráfego diário em torno de 120 mil veículos (METROPLAN, 2000). A figura 2 mostra a localização do município de Canoas.

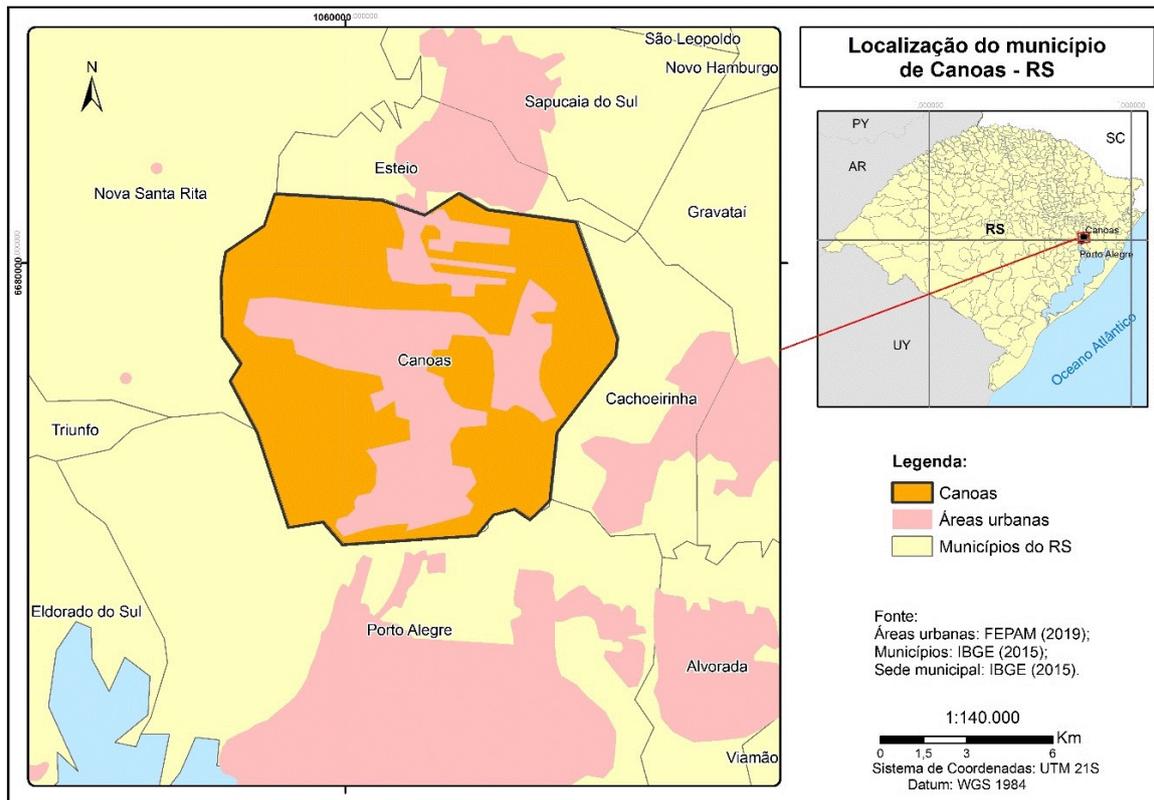


Figura 2: Localização do município de Canoas, Rio Grande do Sul.
Fonte: Aline Goulart

2. QUALIDADE DO AR E CIDADES

2.1 Nossa atmosfera

A atmosfera é vital à vida terrestre, envolvendo a Terra em uma espessura de apenas 1% do raio do planeta. A atmosfera está estratificada em camadas horizontais, com base, principalmente, no comportamento da temperatura do ar: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera e magnetosfera. A atmosfera repousa sobre a os continentes e os oceanos. No final do século XIX, os principais constituintes da atmosfera seca: nitrogênio 78,08%, oxigênio 20,98%, argônio 0,93% e dióxido de carbono 0,035% haviam sido identificados (BARRY e CHORLEY, 2013).

O aquecimento solar diferencial de latitudes baixas e altas é o mecanismo que move as circulações atmosféricas e oceânicas de grande escala na Terra. A maior parte da energia que vem do Sol e entra na atmosfera como radiação de ondas curtas (insolação) chega à superfície da Terra. Parte dela é refletida de volta para o espaço e o resto é absorvido pela superfície, que aquece a atmosfera acima. A atmosfera e a superfície irradiam radiação de ondas longas (térmica) de volta ao espaço. Schmidt (1830) mostrou que, das latitudes de 35° ao equador, existe um excesso de energia solar incidente em relação à energia de ondas longas que deixa a Terra. Ao passo que, entre essas latitudes e os polos, a perda de ondas longas excede o influxo solar. Há transferência geral de energia das latitudes menores para as maiores, por meio da circulação atmosférica e oceânica. A radiação solar recebida pela Terra foi determinada com precisão por satélites na década de 1990 (BARRY e CHORLEY, 2013).

Segundo Barry (2013) o aquecimento solar diferencial da superfície e o gradiente da temperatura atmosférica que ele gera promovem o transporte de energia em grande escala da região equatorial para as regiões polares. Esse transporte se dá por intermédio da circulação de Hadley em latitudes baixas e por meio de perturbações no fluxo ocidental (de oeste para leste) básico na formação de ciclones e anticiclones nas latitudes médias. Ainda de acordo com os autores, durante o sec. XIX foi organizado um grande banco de dados climáticos para fazer generalizações regionais,

incluindo: temperaturas globais com médias anuais para o Hemisfério Norte, primeiros mapas-múndi com temperatura média mensal e nebulosidade anual e mensal, precipitação mundial. Essas generalizações possibilitaram a classificar os climas regionalmente.

A atmosfera terrestre é um ambiente oxidante, devido a elevada concentração de oxigênio diatômico. Quase todos os gases liberados para o ar, sejam substâncias naturais ou poluentes são oxidados na atmosfera e seus produtos finais são depositados na superfície terrestre. As reações de oxidação são vitais para a limpeza do ar (BAIRD, 2011).

2.1.1 Composição da atmosfera

O ar é uma mistura mecânica de gases (Tabela 1). O ar em volume seco é composto em mais de 99% de nitrogênio e oxigênio. Esses gases são misturados em proporções constantes até aproximadamente 100 km de altitude.

Tabela 1: Composição da atmosfera terrestre.

Composição	Símbolo	Volume % (ar seco)
Nitrogênio	N	78,08
Oxigênio	O	20,95
Argônio	Ar	0,93
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,037
Neônio	Ne	0,0018
Hélio	He	0,0005
Ozônio	O ₃	0,00006
Hidrogênio	H	0,00005
Criptônio	Kr	0,00011
Xenônio	Xe	0,00009
Metano	CH ₄	0,00017

Fonte: Adaptado de Barry e Chorley (2013).

Apesar de sua relativa escassez, os gases de efeito estufa (GEEs) desempenham papel importante na termodinâmica da atmosfera. Eles aprisionam a radiação emitida pela Terra, produzindo o efeito estufa. As concentrações desses gases são afetadas pelas atividades antrópicas. São eles: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio (O_3), clorofluorcarbonetos (CFC), hidrofluorcarboneto (HFC) e hidroclorofluorcarbono (HCFC) e água em forma de vapor (H_2O). O vapor de água, é o principal gás de efeito estufa. Sua média é de 1% em volume, mas é muito variável no espaço e no tempo, estando envolvido num complexo ciclo hidrológico global (BARRY e CHORLEY, 2013).

Segundo Barry e Chorley (2013), várias espécies gasosas reativas são produzidas pelos ciclos do enxofre, nitrogênio e cloro, desempenhando papéis cruciais na chuva ácida e na destruição do ozônio, sendo elas:

- Espécies nitrogenadas: as espécies reativas do nitrogênio são o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO_2). O termo NO_x se refere a essas e outras espécies de nitrogênio combinado com o oxigênio.
- Espécies sulfurosas: as espécies reativas são o SO_2 , compostos de enxofre reduzido, como o H_2S (sulfeto de hidrogênio) e $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ (dimetilsulfeto). A origem do enxofre atmosférico é quase totalmente antropogênica, resultante da combustão do carvão e óleo e da fundição do cobre.
- Aerossóis: são partículas suspensas de sulfato, sal marinho, poeira mineral (particularmente silicatos), matéria orgânica (hidrocarbonetos vegetais e antropogênicos) carbono negro, compostos de chumbo, alumínio e sílica. A poeira mineral é difícil estimativa, devido à natureza episódica dos ventos e à considerável variabilidade espacial. O efeito mais direto da poluição particulada é reduzir a visibilidade, a radiação incidente e a luz do Sol. Partículas denominadas $\text{MP}_{2,5}$ podem causar problemas de saúde devido ao seu diminuto tamanho, não sendo filtradas pelos cílios do nariz, chegando aos pulmões. As partículas com diâmetro de 0,1-1 μm espalham a radiação solar e as de 0,1 μm são importantes na condensação das nuvens e, portanto, no início da precipitação.

2.1.2 Influência das condições atmosféricas na qualidade do ar

Após a emissão, os poluentes podem assumir diversos comportamentos, sendo influenciados pelas características da fonte, por fatores meteorológicos, pela topografia do terreno e pelo uso do solo. As variáveis em questão podem contribuir tanto para a acumulação de um determinado poluente quanto para a sua diluição no meio (LORA, 2002).

Os poluentes, são transportados pelas massas de ar até que atinjam um receptor. O processo de dispersão na atmosfera é diferente para cada tipo de poluente e quanto maior a distância até o receptor, menor será a concentração encontrada. Isto acontece porque inúmeros fatores atuam sobre as massas de ar e o transporte desses poluentes, provocando variações nos movimentos, e diferentes processos como deposição, difusão e reações químicas. Incluem nestes fatores os tipos de construção e obstáculos que margeiam as vias, a topografia do terreno, processos de remoção/deposição de poluentes e as condições meteorológicas. Todos estes fatores atuam em conjunto, entretanto, são as condições meteorológicas que, de forma mais complexa, intervêm na dispersão e eventual concentração dos poluentes na atmosfera. Vários estudos contribuem para validar essa afirmação. Um exemplo é o trabalho feito por Carvalho (2010), sobre a influência das condições meteorológicas nas concentrações de O₃. Também Rojas (2013) realizou um estudo sobre as condições meteorológicas e os níveis de poluição na Região Metropolitana de Lima, obtendo resultados sobre a influência de fatores como as brisas e a circulação geral da atmosfera na dispersão dos poluentes. Em situações meteorológicas distintas, mas em condições idênticas de emissão de poluentes, poderão ser medidas concentrações atmosféricas completamente diferentes dos mesmos. O regime dos ventos, a umidade do ar, a radiação solar, a temperatura ambiente, a opacidade, a estabilidade atmosférica, a altura da camada de mistura e a ocorrência de chuvas são alguns fatores locais que podem interferir no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. A circulação geral da atmosfera também interfere na dispersão, uma vez que a movimentação das grandes massas de ar afeta a circulação local (DAMILANO, 2006).

O vento é o primeiro mecanismo atmosférico de transporte. Os ventos na Terra são resultados das diferenças de pressão devidas ao aquecimento ou resfriamento da atmosfera. Na escala local, áreas urbanas, industriais e rurais geram campos térmicos diferenciados que definem o comportamento atmosférico local. O vento é uma grandeza vetorial e como tal apresenta três componentes (x, y, z) sendo que a sua resultante determina a direção do vento em cada instante. A componente vertical do vento (z) é responsável pela turbulência enquanto que as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição e transporte das plumas de poluição. A velocidade do vento aumenta de acordo com a altura, afetando de uma maneira mais direta a massa de poluentes emitidos pelas chaminés de grande altura, principalmente no momento inicial da mistura dos gases de saída com a camada atmosférica. Em condições de grande estabilidade da atmosfera, o transporte do material em altura pode ser feito a longas distâncias e levar as situações de concentrações de poluentes ao nível do solo em locais onde não há fontes poluidoras próximas (TORRES e MARTINS, 2005).

Na presença de sistemas de alta pressão o vento é fraco ou nulo, ocorrendo aumento de concentrações de poluentes. Freitas (2003) constatou que as brisas são um fenômeno de grande importância para a caracterização das condições de dispersão dos poluentes devido aos efeitos de recirculação na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Foi observado que zonas de convergência urbanas e brisa marítima e ilhas de calor são fortalecidas pela interação entre brisa marítima e ilhas de calor, podendo ocasionar a recirculação de poluentes no centro da cidade (FREITAS, 2003). Simulações realizadas pelo autor, sobre o efeito da urbanização, mostraram também que a ilha de calor urbana faz com que haja uma propagação mais rápida da frente de brisa até o centro da RMSP, assim como a propagação da frente de brisa para o interior (na direção SE-NW). Poluentes emitidos na RMSP são transportados para áreas remotas, diminuindo a concentração dos mesmos nas regiões emissoras.

Outro parâmetro meteorológico que atua na dispersão ou concentração dos poluentes é a umidade relativa do ar. Quando a umidade é alta, as concentrações de determinadas espécies poluidoras podem aumentar (MARTINS et al., 2000). A umidade relativa baixa, pode agravar doenças, além de causar desconforto nas

peças saudáveis; esta situação possui semelhança com os sintomas da poluição do ar e muitas vezes leva a confundir os dois fenômenos (DAMILANO, 2006). A alta taxa de pavimentação e poucas áreas verdes são fatores que contribuem com a formação da ilha de calor urbana, além de reduzirem a umidade relativa do ar (BARRY e CHORLEY, 2013).

A formação de oxidantes na atmosfera, como por exemplo a do ozônio, depende da intensidade da radiação solar. Em geral, as concentrações de ozônio aumentam quando o fluxo de raios ultravioleta for no máximo, 37, com poucas nuvens, e o volume de ar em que os precursores são misturados e transportados seja limitado (RYAN et al., 1999).

A temperatura também é importante na dispersão atmosférica de poluentes. Valores elevados de temperaturas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), gerando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados. Por outro lado, temperaturas mais baixas não induzem aos movimentos verticais termicamente induzidos, o que permite a manutenção de poluentes atmosféricos em níveis mais baixos (DAMILANO, 2006). Seinfeld (1986) demonstrou que as emissões de hidrocarbonetos biogênicos e as emissões evaporativas de COV's aumentam com a temperatura.

A estabilidade atmosférica determina a dispersão do poluente verticalmente. Geralmente, no período noturno a estabilidade atmosférica causada pelo resfriamento do ar inferior cessa movimentos ascendentes, e a tendência é o aumento das concentrações dos poluentes. A inversão térmica forma uma barreira que impede o deslocamento vertical dos poluentes. Analisando os sistemas sinóticos fundamentais, como os sistemas de altas e baixas pressões e as frentes de massas de ar, sabe-se que de forma geral que em centros de altas pressões predomina a estabilidade e, conseqüentemente, pouca mistura vertical e, portanto, fraca dispersão dos poluentes. Na presença de sistemas de baixa pressão ocorrem condições de instabilidade e de grande turbulência favorecendo a dispersão dos poluentes (DAMILANO, 2006).

2.2 Poluição atmosférica

A OMS classifica poluição do ar como a contaminação dos ambientes internos ou externos por qualquer composto químico, físico ou agente biológico que modifique as características naturais da atmosfera.

A poluição atmosférica pode ser caracterizada pelos seguintes fatores: intensidade, continuidade e efetividade. A intensidade é o fator quantitativo da poluição; a continuidade, a permanência de sua ação nociva por dificuldades de eliminação; e a efetividade, a ação real sobre os seres vivos existentes no meio ambiente (DAMILANO, 2006).

As concentrações dos poluentes dependem das condições meteorológicas, da topografia, da densidade populacional, do tráfego veicular, do nível e do tipo das atividades industriais locais (BRAGA et al, 2002).

Entre os impactos da poluição do ar, estão: efeitos meteorológicos diretos sobre a transferência radiativa, a luminosidade solar, a visibilidade e o desenvolvimento de neblina e nuvens. Impacta também produzindo GEEs pela liberação de CO₂, CH₄, NO_x, CFCs, HFCs. Produz efeitos fotoquímicos, como a formação de O₃ na troposfera. Acarreta a acidificação em processos envolvendo SO₂, NO_x e NH₃ (amônio). Além de muitos transtornos para a sociedade, como poeira, odor e smog que afetam a saúde e a qualidade de vida, especialmente em áreas urbanas (BARRY e CHORLEY, 2013).

Segundo o mesmo autor, os gases liberados pelo escape dos motores a diesel incluem CO, NO_x, SO₂, hidrocarbonetos (CH₄) e quantidades significativas de partículas sólidas e líquidas (combustível não queimado e óleos lubrificantes). O H₂SO₄ (ácido sulfúrico) é produzido a partir do enxofre (S) presente no combustível. Parte da fuligem de carbono (C) reage com o NO₂, nos gases de exaustão, formando o CO e o NO (BAIRD, 2011). A fumaça preta, composta em sua maioria por material particulado, liberada pelos caminhões a diesel é frequentemente a forma de poluição mais óbvia que podemos encontrar. Os materiais particulados são sólidos pequenos ou partículas líquidas que estão suspensas no ar e que são geralmente invisíveis individualmente a olho nu. O conjunto dessas partículas forma uma neblina restringindo a visibilidade. Os materiais particulados possuem diversos tamanhos,

formatos e composições químicas diferentes. O diâmetro do material particulado varia de 2nm (nanômetros) a cerca de 0,1 mm (milímetro) sendo sua propriedade mais importante. Existem muitos nomes para as partículas atmosféricas: poeira e fuligem referem-se a sólidos, enquanto névoa e neblina referem-se a líquidos. Um aerossol é uma coleção de materiais particulados. As atmosferas poluídas em geral têm concentração de aerossóis de 10-100 vezes acima das observadas em massas de ar oceânicas em locais prístinos. Os aerossóis são removidos da atmosfera por deposição e carreamento pela chuva.

As partículas finas de origem antropogênica são formadas pelo uso de pneus e freios nos veículos e estão presentes na poeira de fundição de metais. A combustão incompleta de combustíveis à base de carbono, como o carvão, o óleo, a gasolina e o diesel produzem muitas partículas finas de fuligem. Uma das principais fontes primárias de materiais particulados a base de carbono é o escapamento dos veículos (emissões diretas), especialmente aqueles com motores a diesel. Cerca de metade dos conteúdos orgânicos dos veículos pesados a diesel é carbono elementar presente na fuligem da fumaça negra (BAIRD, 2011).

Os poluentes atmosféricos emitidos pelos veículos movidos a gasolina são: CO, NO_x, MP, SO_x (óxidos de enxofre), aldeídos (RCHO), hidrocarbonetos não metano (HCNM) referente a emissão de escapamento e CH₄ (MMA,2012).

Uma parte da gasolina dos automóveis é emitida sem ser queimada, ou em forma mal oxidada. A combustão da gasolina emite também fuligem de C, matéria orgânica particulada (MOP), sulfato (SO₄⁻²) e nitratos de peroxiacetila (PANs). A metade de aerossóis geralmente é MOP e sulfato (BARRY e CHORLEY, 2013).

As emissões evaporativas são constituídas pelos hidrocarbonetos que evaporam do sistema de alimentação de combustível do veículo. Essas emissões de veículos automotores são influenciadas por vários fatores, dentre os quais podemos destacar: tecnologia do motor, porte e tipo de uso do veículo, idade do veículo, projeto e materiais do sistema de alimentação de combustível, tipo e qualidade do combustível (pressão de vapor), condições de manutenção e condução do veículo além de fatores meteorológicos, como pressão e temperatura ambientes (MMA, 2011).

Segundo Feltre (2005), o NO_2 e o NO são considerados as moléculas mais importantes da química da atmosfera. São gerados por fontes antropogênicas, sendo a principal delas a queima de combustíveis fósseis a elevadas temperaturas. A emissão desses gases ocorre na troposfera, sendo carregados facilmente para a estratosfera, através do mecanismo de convecção (ou seja, a superfície terrestre aquece as massas gasosas, que têm sua densidade reduzida e sobem para camadas atmosféricas superiores). Processos de combustão emitem baixas concentrações de NO_2 em relação aos valores de NO . Porém as moléculas de NO ao entrar em contato com o oxigênio do ar, se convertem em NO_2 , e por esse motivo, as taxas de emissão são sempre calculadas considerando ambos os compostos como sendo apenas NO_2 . O NO_2 reage com radicais hidroxila (OH) presentes no vapor d'água, formando o ácido nítrico (HNO_3), participante do smog fotoquímico e da chuva ácida.

O dióxido de enxofre é emitido para a atmosfera diretamente como SO_2 ou indiretamente como H_2S pela indústria petrolífera, quando o óleo é refinado e o gás natural é purificado antes da distribuição. Outras fontes de emissão são a indústria do cimento e metalúrgica (BAIRD, 2011).

A presença no ar de algumas substâncias na forma de material particulado tende a agravar os efeitos de certos gases. O caso mais comum é o do dióxido de enxofre (SO_2), cujo efeito nocivo é muito maior na presença de material particulado (TORRES e MARTINS, 2005).

A composição química do MP_{10} na RMPA foi estudada por Braga et al (2005) no período de outubro/2001 a dezembro/2002 sendo possível identificar suas principais fontes de emissão: veículos, plantas de produção de aço, usinas termoelétricas a carvão e sais oriundos do oceano, transportados pelas massas de ar.

A particularidade da poluição do ar está no fato de que o homem não pode evitar sua exposição ao ar, uma vez que deve respirar para viver, aproximadamente 15.000 litros por dia. A inalação de poluentes presentes no ar que respiramos é, portanto, a via direta de exposição. A exposição aos poluentes atmosféricos, também podem ocorrer de maneira indireta, por ingestão (poluentes que se depositam no solo e contaminam a cadeia alimentar) ou por contato cutâneo. Quando ocorre exposição aos poluentes atmosféricos, os efeitos são diversos e dependerão do tempo de

duração da exposição, da frequência da exposição e da concentração dos poluentes. Cada um dos poluentes tem efeitos específicos a curto ou longo prazo (PACE, 2011).

Os climas de pequena escala ocorrem dentro da camada limite planetária (CLP) e têm escalas verticais da ordem de 10^3 m, escalas horizontais de 10^4 m, e escalas temporais de aproximadamente 10^5 segundos. A camada limite tem geralmente 1 km de espessura, mas varia entre 20 m e vários quilômetros em diferentes locais e diferentes momentos no mesmo local. Dentro dessa camada, os processos de difusão mecânica e convectiva transportam massa e energia, além de trocarem aerossóis e substâncias químicas entre a atmosfera inferior e a superfície da Terra. A camada limite é especialmente propensa ao resfriamento noturno e ao aquecimento diurno e, dentro dela, a velocidade do vento diminui por atrito (BARRY e CHORLEY, 2013).

Segundo Lindau (2011), a parte mais baixa da troposfera, a CLP recebe a maior parte das emissões de materiais particulados. A intensidade da turbulência na CLP determinará se o poluente se dispersará rapidamente ou ficará concentrado num volume relativamente pequeno, causando, nesse último caso, um episódio de poluição do ar. A variação da temperatura com a altitude e a velocidade do vento são fatores sempre presentes na determinação das características da CLP.

A atmosfera instável é caracterizada por fortes correntes de ar ascendentes e descendentes, resultando numa mais rápida dispersão das partículas emitidas. Essa condição pode ser o resultado tanto do aquecimento do ar próximo à superfície como do resfriamento do ar a maiores altitudes. A atmosfera estável é caracterizada quando a diferença de temperatura do ar entre a superfície e o topo da CLP for relativamente pequena. Nessa condição a tendência das parcelas de ar em se movimentar verticalmente é baixa, resultando na fraca dispersão dos poluentes emitidos. Se a temperatura aumenta com a altitude, a atmosfera será menos densa em partes mais altas, evitando a descida de parcelas de ar, tornando a atmosfera muito estável e caracterizando um episódio de inversão térmica (LINDAU, 2011).

2.3 Clima urbano

Neste século, a maior parte da população humana viverá sob influência do clima urbano. As construções urbanas e de estradas acarretam mudanças nos

microclimas existentes criando novos microclimas. As características dos novos microclimas dependerão do projeto, da densidade e da função das construções. As estruturas urbanas modificam a composição da atmosfera, o balanço de calor e as características da superfície (BARRY e CHORLEY, 2013).

A modificação da composição da atmosfera ocorre porque a poluição urbana altera as propriedades térmicas da atmosfera. (BARRY e CHORLEY, 2013). Segundo os autores, a natureza complexa da modificação urbana do balanço de calor é demonstrada ao se fazer observações dentro e ao redor da cidade. Comparando os balanços de energia diurnos do verão para locais rurais e suburbanos. Constata-se, que as áreas rurais apresentam considerável consumo do saldo de radiação por evapotranspiração durante o dia, ocasionando temperaturas mais baixas do que nos subúrbios. O ganho no saldo de radiação nos subúrbios é maior durante o dia, a perda é maior durante a noite, devido à liberação de calor sensível turbulento da cobertura. O balanço de energia diurno para o topo de um cânion urbano é simétrico pelo meio dia e dois terços do saldo de radiação são transferidos para o calor atmosférico e um terço para o armazenamento no material de construção. As temperaturas urbanas são mais altas que as dos campos circundantes e resultam da interação entre os seguintes fatores:

- Mudanças no balanço de radiação devido à composição da atmosfera;
- Mudanças no balanço de radiação devido ao albedo e à capacidade térmica dos materiais da superfície urbana e à geometria do cânion;
- Produção de calor por construções, tráfego e indústria;
- Redução da difusão do calor pelas mudanças de escoamento causados pela rugosidade da superfície urbana;
- Redução na energia térmica exigida para a evaporação e transpiração, devido a superfície, à drenagem rápida e aos ventos com velocidades geralmente menor em áreas urbanas.

Os climas urbanos são dominados pela geometria e composição das superfícies construídas e pelos efeitos das atividades humanas. Domos e plumas de poluição se formam ao redor de cidades, sob condições adequadas de estrutura vertical da temperatura e velocidade dos ventos. Fluxo de calor sensível para a atmosfera e fluxo de calor para o solo dominam o balanço de calor urbano, exceto nas

praças da cidade, e até 70-80% da radiação incidente podem se transformar em calor sensível, que apresenta uma distribuição variável entre as diferentes formas do meio construído urbano. As influências urbanas se combinam para gerar temperaturas geralmente mais altas do que nas áreas rurais adjacentes à crescente geração de calor pelas atividades humanas. Esses fatores levam à formação de ilha de calor urbana, que pode ser 6-8°C mais quente que as áreas adjacentes nas primeiras horas de noites calmas e claras, quando o calor armazenado pelas superfícies urbanas está sendo liberado. A configuração dos prédios determina a espessura da ilha de calor. A diferença de temperatura urbana-rural em condições calmas está relacionada com o tamanho da população urbana (BARRY e CHORLEY, 2013).

As estruturas urbanas também modificam as características da superfície. O efeito protetor dos edifícios diminui as velocidades dos ventos. Ocasionalmente ventos urbanos com velocidades menores do que em áreas rurais durante o dia. Porém o fluxo do vento é complexo, e depende da geometria das estruturas da cidade. As cidades tendem a ser menos úmidas do que as áreas rurais, mas sua topografia, rugosidade e qualidades térmicas podem intensificar a atividade convectiva no verão sobre e a sotavento da área urbana, gerando mais tempestades e chuvas mais intensas (BARRY e CHORLEY, 2013).

2.4 Monitoramento da qualidade do ar

O monitoramento da qualidade do ar no estado é realizado pela FEPAM, através de uma rede de estações automáticas, denominada AR DO SUL. Segundo a FEPAM, as análises são realizadas, automaticamente, por equipamentos que utilizam princípios físicos e químicos, no instante em que o ar é amostrado. Os dados gerados são enviados a uma central, o que permite acompanhamento virtual da qualidade do ar e das condições meteorológicas, nos locais onde estão instaladas as estações de monitoramento. Possui estações fixas que se constituem de um container, dotado de equipamentos de análise, necessários e inerentes à sua área de abrangência, e mais estação móvel (trailer rebocável) para deslocamento aos locais de interesse não previstos pelas fixas. Os dados de concentração gerados, periodicamente de MP₁₀,

SO₂, NO_x, CO e O₃ bem como os parâmetros meteorológicos de direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação total e ultravioleta são enviados, virtualmente, para a FEPAM. Os parâmetros meteorológicos armazenados são periodicamente utilizados na modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos.

Segundo a FEPAM, o Índice de Qualidade do Ar (IQAr) é uma fórmula matemática que transforma as concentrações medidas dos diversos poluentes em um único valor que possibilita a comparação com os limites legais de concentração para os poluentes (Padrões de Qualidade do Ar - PQAr). O IQAr proporciona à população o entendimento sobre a qualidade do ar local amostrados. É divulgado diariamente através do boletim da qualidade do ar e considera 24 horas de monitoramento e o índice mais elevado dos poluentes monitorados, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso. Obtém-se o índice de qualidade do ar através da seguinte fórmula:

$$\text{Índice} = \text{Índice inicial} + (\text{Índice final} - \text{Índice inicial} / \text{Concentração final} - \text{Concentração inicial}) \times (\text{Concentração medida} - \text{Concentração inicial})$$

Onde:

Índice - Índice de qualidade do ar desejado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Índice inicial - valor do índice correspondente a Conc. inicial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Índice final - valor do índice correspondente a Conc. final ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Conc. final - concentração final da faixa onde encontra-se a concentração medida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Conc. inicial - concentração inicial da faixa onde encontra-se a concentração medida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Conc. medida - concentração medida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Segundo a FEPAM, na ultrapassagem dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, estabelecidos na Res. 491/18 do CONAMA, para mais de um poluente na mesma estação, todos serão divulgados, identificados pela qualidade INADEQUADA (IQAr maior que 100). A qualidade MÁ (IQAr maior que 200) indica a ultrapassagem do Nível

de Atenção, a qualidade PÉSSIMA indica a ultrapassagem do Nível de Alerta (IQAr maior que 300) e a qualidade CRÍTICA, a ultrapassagem do Nível de Emergência (IQAr maior que 400). A Tabela 2 mostra os métodos de medição dos poluentes na Rede Automática.

Tabela 2: Métodos de medição dos poluentes na Rede Automática.

Poluente	Método
Partículas Inaláveis - PI_{10}	Radiação Beta ou Micro-balança oscilante
Dióxido de Enxofre - SO_2	Fluorescência - Ultravioleta
Monóxido de Carbono - CO	Infravermelho não-dispersivo
Óxidos de Nitrogênio - NO_x	Quimiluminescência
Ozônio - O_3	Ultravioleta

Fonte: FEPAM.

A rede de monitoramento da qualidade do ar enfrenta muitos problemas de funcionamento. No início da rede Ar do Sul da FEPAM haviam 14 estações de monitoramento fixas e outras estações móveis por todo Estado. Atualmente, no mês de junho/2020 apenas duas estações fixas e uma estação móvel estão em operação em todo Estado. Das estações em funcionamento a de Gravataí-Condôminio Jardim Timbaúva é mantida pela empresa General Motors. A estação Guaíba-Parque 35 é mantida pela empresa Celulose Rio-grandense e a estação móvel no Polo Petroquímico em Triunfo pela empresa Braskem. A estação Canoas-Parque Universitário onde foram coletados os dados deste trabalho pertencem à empresa REFAP, bem como a estação localizada no município de Esteio. Essas estações de monitoramento são mantidas por empresas por força de condicionantes de seus licenciamentos ambientais, exigidos pela FEPAM. Somente a estação de Guaíba monitora os cinco poluentes, previstos para serem analisados pela FEPAM. Hoje, encontramos uma situação bem precária no monitoramento da qualidade do ar porque grandes centros como Porto Alegre, Caxias e Novo Hamburgo carecem de monitoramento. Para avaliar a qualidade do ar no município de Canoas há

necessidade de monitorá-lo bem como, analisar os parâmetros meteorológicos que influenciam na concentração e na dispersão dos poluentes atmosféricos.

O DETRAN-RS realizou o 1º Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul com ano base 2009, onde dividiu-se o Estado em oito regiões. A RMPA, segundo o inventário, é responsável por 40% de toda poluição atmosférica do Estado, por veículos automotores e indústrias. A análise do crescimento da frota de veículos automotores, no estado do Rio Grande do Sul, observado na Tabela 3, sugere um provável aumento das emissões de poluentes atmosféricos.

Tabela 3: Evolução da frota total de veículos e caminhões no estado do Rio Grande do Sul.

Ano	Total veículos	Total caminhões
2012	5.514.581	244.122
2013	5.885.383	257.410
2014	6.217.960	268.210
2015	6.457.517	273.973
2016	6.650.259	278.433
2017	6.851.105	283.141
2018	7.077.972	290.019

Fonte: Autoria própria, adaptado do IBGE (2019).

2.5 Padrões de qualidade do ar

Os padrões de qualidade do ar (PQAr), segundo publicação da OMS (2005), variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar. As diretrizes recomendadas pela OMS levam em conta essa heterogeneidade e, em particular, reconhecem que,

ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais.

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente estabelece os padrões de qualidade do ar através de Resoluções do CONAMA. Esse trabalho cita a Resolução 03/90 que foi revogada e substituída pela 491/2018, em 19/11/2018.

A Resolução 03/1990 define como padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Define dois tipos de padrões de qualidade do ar:

- Padrões primários que são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população;
- Padrões secundários que são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Define como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 mm de coluna de mercúrio (1.013,2 mb).

A concentração atmosférica é a fração que determinado poluente representa do volume total de ar analisado. O nível de concentração do ar é medido pela quantificação das substâncias poluidoras presentes no ar. A quantificação pode indicar o número de partículas por milhão de partes de mistura (ppm) ou o peso das partículas por unidade de volume de ar, por exemplo, em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, foram adotados universalmente em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos. A Tabela 4 apresenta os padrões primário e secundário de qualidade do ar, conforme Res. CONAMA 03/90.

Tabela 4: Padrões de Qualidade do Ar –Res. CONAMA 03/90.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	Padrão Primário	Padrão Secundário	ppm
		µg/m ³	µg/m ³	
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas ³	150	150	
	Anual ²	50	50	
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas ³	365	100	
	Anual ²	80	40	
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora	320	190	
	Anual ²	100	100	
Ozônio (O ₃)	1 hora ³	160	160	
Fumaça	24 horas ³	150	100	
	Anual ²	60	40	
Monóxido de carbono (CO)	8 horas ³	10.000	10.000	9
	1 hora ³	40.000	40.000	35
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas ³	240	150	
	Anual ¹	80	60	

1 - média geométrica anual; 2 - média aritmética anual; 3 - não pode ser excedida mais de uma vez por ano.

Fonte: Autoria própria com dados da Res. CONAMA 03/90. Ministério do Meio Ambiente do Brasil.

A Res. 03/90 também estabelece níveis de atenção, alerta e emergência fixando limites de concentrações dos poluentes, mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações- Resolução CONAMA 03/90.

Nível	Poluentes e concentrações						
	SO ₂ µg/m ³	PI µg/m ³	CO ppm	O ₃ µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	PTS µg/m ³	Fumaça µg/m ³
	Média de 24h	Média de 24h	Média de 8h	Média de 1 hora	Média de 1 hora	Média de 24h	Média de 24h
Atenção	800	250	15	400	1.130	375	250
Alerta	1.600	420	30	800	2.260	625	420
Emergência	2.100	500	40	1.000	3.000	875	500

SO₂ - dióxido de enxofre; PI - partículas inaláveis; CO - monóxido de carbono; O₃ - ozônio; NO₂ - dióxido de nitrogênio; PTS-Partículas Totais em Suspensão e Fumaça. µg/m³ = microgramas por metro cúbico; ppm = partes por milhão.

Fonte: Autoria própria com dados da Res. CONAMA 03/90. Ministério do Meio Ambiente do Brasil.

O CONAMA através da Resolução nº 491 de 19/11/2018 estabeleceu novos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar. A resolução define como padrão de qualidade do ar o valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica.

Os Padrões de Qualidade do Ar definidos na Res. CONAMA 491 serão adotados sequencialmente (Tabela 6), em quatro etapas, sendo que a primeira etapa entrou em vigor a partir da publicação da Resolução e compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1. Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final - PI-2, PI-3 e PF serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente. Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalecerá o padrão já adotado. Para os poluentes CO, PTS e Pb foi adotado o padrão de qualidade do ar final, a partir da publicação da Resolução. Esta resolução revogou os padrões de qualidade do ar primário e secundários da Res. 03/90 e a classificação de

áreas em classes, conforme os usos pretendidos, da Resolução CONAMA nº 05/1989. A Tabela 6 apresenta os padrões de qualidade do ar.

Tabela 6: Padrões de qualidade do ar- Res. CONAMA 491/18.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado MP2,5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio (O ₃)	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de carbono –CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão – PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo – Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

1- média aritmética anual; 2 - média horária; 3 - máxima média móvel obtida no dia; 4 - média geométrica anual, e 5 - medido nas partículas totais em suspensão.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente do Brasil.

A Res. 491/18 estabelece o conteúdo mínimo para o relatório de avaliação da qualidade do ar, a seguir:

1. Descrição das características da região do estado e do Distrito Federal:
 - a. condições meteorológicas;

- b. uso e ocupação do solo;
- c. outras características consideradas relevantes;
- 2. Descrição da rede de monitoramento;
- 3. Poluentes Atmosféricos monitorados;
- 4. Redes de Monitoramento;
- 5. Tipos de Rede e Parâmetros Monitorados a) Rede Automática b) Rede Manual;
- 6. Metodologia de Monitoramento;
- 7. Metodologia de Tratamento dos Dados;
- 8. Representatividade de Dados a) Rede Automática b) Rede Manual;
- 9. Representatividade espacial das estações;
- 10. Descrição das fontes de poluição do ar;
- 11. Considerações gerais sobre estimativas de emissão de fontes móveis e estacionárias;
- 12. Apresentação dos resultados quanto aos poluentes;
- 13. Medidas de gestão implementadas;
- 14. Referências legais e bibliográficas;

A referida resolução, estabelece os níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações (Tabela 7).

Tabela 7: Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações- Resolução CONAMA 491/18.

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO ₂ µg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado		CO ppm (média móvel de 8h)	O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h)	NO ₂ µg/m ³ (média de 1h)
		MP ₁₀ µg/m ³ (média 24h)	MP _{2,5} µg/m ³ (média 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

SO₂ - dióxido de enxofre; MP₁₀ - material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10µm; MP_{2,5}- material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5µm; O₃-ozônio; NO₂- dióxido de nitrogênio; µg/m³= microgramas por metro cúbico; CO - monóxido de carbono ppm = partes por milhão.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente do Brasil.

Estabelece, também, o padrão de qualidade boa do ar com respectivo índice e concentrações dos poluentes (Tabela 8).

Tabela 8: Padrão de qualidade boa do ar com respectivo índice e concentrações dos poluentes- Resolução CONAMA 491/18.

Qualidade	índice	MP ₁₀	MP _{2,5}	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂
		(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	ppm	(µg/m ³)	(µg/m ³)
		24h	24h	8h	8h	1h	24h
N1-Boa	0-40	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20

Fonte: Ministério do Meio Ambiente do Brasil.

Segundo Vormittag (2018) a Resolução 491/18, estabelece novos padrões de qualidade do ar a serem adotados em quatro etapas, sendo a última delas (PF) o padrão estipulado pela OMS, em 2005. A etapa PI-1, que entrou em vigor assim que a resolução foi publicada, estabelece limites de emissões de poluentes atmosféricos muito acima do padrão de referência do ano de 2005 da OMS, com exceção do monóxido de carbono.

O Rio Grande do Sul no seu Código do Meio Ambiente estabelece critérios de utilização e conservação do ar, no Capítulo III da Lei Estadual n. ° 15.434 de 09 de Janeiro de 2020. O Decreto Estadual Nº 53.202 de 26/09/2016, no art. 72 estabelece cobrança de multas para crimes ambientais.

3. CARACTERÍSTICAS ATMOSFÉRICAS DO SUL DO BRASIL

Segundo Livi (2006), o tempo meteorológico é uma síntese das condições momentâneas e transitórias dos elementos climáticos: temperatura e umidade do ar, radiação solar, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade do vento, entre outros. É o tempo que atua diretamente sobre a população de um lugar e produz sensações como o frio, o calor, a pressão, entre outras. Já o clima de um lugar, de acordo com Livi (2006), é o resultado do comportamento regular da rítmica e contínua sucessão de tempos meteorológicos que atuam sobre sua superfície por um longo período de tempo.

O clima da Terra é definido pela circulação e interação da água e o ar, que têm dinâmica própria e interação entre si, com a terra sólida e com os sistemas naturais ou não (STRAHLER e STRAHLER, 1989; CAVALCANTI, 2009).

3.1 Caracterização climática do RS

Para se caracterizar o clima de uma determinada região, deve-se considerar a atuação e interação dos diferentes sistemas de circulação atmosférica e de seus principais elementos climáticos (precipitação, temperatura, por exemplo), associado ao estudo das características da superfície: hipsometria, topografia, solos, corpos da água, cobertura vegetal, entre outros (STRAHLER e STRAHLER, 2002).

Devido a sua posição geográfica o RS encontra-se localizado em uma latitude singular, do ponto de vista climato-meteorológico (Vieira, 1984). Essa singularidade geográfica é delimitada pelas coordenadas 27° 04' 49"S (extremo norte) e 33° 45' 03"S (extremo sul), localizando o RS em uma zona de transição climática.

Segundo a classificação climática de Köppen o RS encontra-se dentro do Tipo climático Fundamental C: climas temperados, com a temperatura média do mês mais frio oscilando entre 18° e -3°C; temperatura média do mês mais quente >10°C e estações de verão e inverno bem definidas. Para a precipitação o RS classifica-se como tipo fundamental f: climas temperados úmidos com ausência de estação seca e com ocorrência de pelo menos 30 mm de precipitação no mês mais seco do ano.

Segundo o critério temperatura, a classificação climática de Köppen divide o RS em dois grupos: Cfa (verão quente), caracterizado por apresentar temperatura do ar no mês mais quente superior a 22°C e Cfb (verão temperado) com temperatura do ar no mês mais quente inferior a 22°C e pelo menos 4 meses superior a 10°C. As temperaturas apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos rigorosos, com ocorrência de geada e eventual precipitação de neve. As médias anuais oscilam entre 16° e 20°C. Sazonalmente as temperaturas médias situam-se entre 20° e 24°C no verão e 12° e 16°C no inverno (NIMER, 1990).

Segundo Viana *et al* (2006), a distância latitudinal não é grande o suficiente para permitir uma diferenciação climática maior no RS, excetuando-se o efeito de altitude do Planalto Superior e Serra do Nordeste, onde ocorre a variante Cfb – mais fria, encontrada acima da cota de 800 m, aproximadamente. O que corrobora a afirmação de que fatores como a geomorfologia, continentalidade, maritimidade e cobertura do solo, também exercem influência sobre o clima do RS (VIANA, 2006).

A distribuição de precipitação média anual no RS apresenta-se de forma equilibrada sazonalmente (24% no verão; 25% no outono; 25% no inverno e 26% na primavera), apresentando, porém, deficiência hídrica nos meses do verão (BERLATO, 1992).

Viana *et al* (2006) apresenta a média anual de precipitação para o período de 1945-2004 na marca de 1.613 mm, com variação entre 1.391 mm e 1.940 mm. Os totais anuais localizados na metade norte maiores, ficando acima de 1.600 mm e na metade sul abaixo. A série climatológica (1975-2004) apresenta um incremento médio de 8% na precipitação anual no RS, comparado com a série anterior (1945-1974). Sazonalmente o incremento na precipitação média se pronunciou mais efetivamente nas estações de transição, o outono apresentou um incremento de 17%, a primavera 9%, já os menores valores ocorreram no inverno (2%) e verão (7%).

3.2 Circulação Atmosférica no Rio Grande do Sul

O clima do planeta Terra e as condições do tempo meteorológico em uma escala menor, têm as suas condições e características formadas, influenciadas e alteradas pela dinâmica da circulação atmosférica. Esse mecanismo dinâmico

caracteriza-se, principalmente, pelo gradiente latitudinal do aporte de radiação solar, oferecendo à superfície da terra diferentes faixas de aquecimento. Soma-se e associa-se a esse fator principal o gradiente de pressão, a atuação da força de Coriolis e correntes oceânicas. Nessa dinâmica de interação entre os sistemas de circulação das massas atmosféricas teremos a própria condição climática de determinada área (Vieira, 1984). De acordo com Ayoade (2002), classificamos a circulação atmosférica seguindo três ordens de grandeza, sendo:

- 1) Circulação primária: resultante de padrões globais de vento e pressão anuais ou com repetição sazonal no globo terrestre;
- 2) Circulação secundária: atuação de anticiclones e sistemas deprecionários, com a atuação de perturbações tropicais (sistemas de curta duração e deslocamento rápido);
- 3) Circulação terciária: ventos locais (brisas marítimas ou terrestres), ondas de sotavento e ventos catabáticos e anabáticos.

A dinâmica meteorológica do RS é condicionada, principalmente pela circulação atmosférica secundária (VIANA, 2006). A faixa localizada entre as latitudes de 30° e 40°, segundo Barry e Chorley (2013) apresenta um excedente da radiação terrestre em relação à radiação solar e coincide com a transição da zona tropical para a temperada. Essa transição climática implica ao RS um modelo atmosférico coordenado pela dinâmica dos centros de ação que movimentam as massas de ar. A transição das médias para as baixas latitudes caracteriza-se pela atuação de anticiclones permanentes. Os centros de alta pressão (anticiclones), originários no Atlântico e no Pacífico são de elementos caracterizadores da circulação atmosférica do RS, diferenciando-se apenas na intensidade de suas atuações. O Anticiclone do Pacífico encontra na Cordilheira dos Andes uma barreira orográfica que o impede o avanço sobre o continente, logo é a influência do Anticiclone do Atlântico Sul, que consegue avançar sobre o continente, que vai determinar as condições meteorológicas no RS (NIMER, 1977).

As propriedades reguladoras dos anticiclones são influenciadas pelas massas de ar atuantes na região, que segundo a classificação proposta por Strahler (1989) o

RS é influenciado pelas massas de ar tropical e polar. Para Barry e Chorley (2013), uma massa de ar é uma grande porção de ar cujas propriedades físicas, em especial a temperatura, umidade e gradiente vertical de temperatura, são mais ou menos uniformes para extensas regiões. Para que o ar apresente tais características, ele deve permanecer estacionário ou deslocar-se muito lentamente sobre grandes extensões homogêneas (TUBELIS E NASCIMENTO, 1980). Conforme a latitude de origem as massas de ar recebem diferentes denominações: Árticas (A), Antárticas (AA), Polares (P), Tropicais (T) e Equatoriais (E). E conforme a superfície sobre a qual a massa de ar foi formada, esta recebe as denominações de Continental (c) e Marítima (m). Quanto à temperatura da massa de ar ao atingir uma determinada região, ela pode ser classificada como fria (K) ou quente (W) em relação à temperatura da massa de ar que estiver sendo desalojada (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980).

Devido à localização do RS, temos a influência de massas de ar de origem polar e tropical, com características continentais e marítimas. Pode-se destacar a atuação das massas marítima Polar (mP), marítima Tropical (mT) e a continental Tropical (cT) (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980).

Segundo Nimer (1977), a movimentação e interação dessas massas de ar é que definirão as características climatológicas do RS. Sendo que os dois principais sistemas originários dessa dinâmica de massas de ar atuantes no clima do RS são o anticiclone móvel polar (AMP) que se desloca preferencialmente no sentido SW-NE, originado e caracterizado pela massa mP que impõe, após a passagem de frentes frias, uma condição de estabilidade meteorológica para a região. Influenciado pela massa mT, com deslocamento sazonal pequeno, predominantemente no verão, atua na região o anticiclone semipermanente do Atlântico Sul (AST), que também age como uma barreira ao avanço do AMP.

A associação entre a mP com as altas temperaturas e baixas pressões determina a predominância das frentes frias no período de abril a setembro na região. Devido às características de ar seco frio e estável essa massa de ar vai proporcionar condições meteorológicas de tempo bom e temperaturas baixas muitas vezes. Antes disso a massa sofre subsidência e durante o avanço sobre a superfície oceânica sofre inversão térmica tornando-se instável, o que gera precipitações e antecede condições de tempo bom, e baixas temperaturas. O avanço de Frentes Polares ocorre durante

todo o ano, porém são mais extensas e frequentes no inverno (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980).

Durante o verão no Hemisfério Sul o maior aporte de radiação solar na latitude onde está localizado o RS, deixa o Estado sob ação predominante da mT, que se caracteriza como uma parcela de ar com elevados valores de temperatura e umidade na superfície, porém, sofre constante subsidência causada pela AST, a qual origina tempo instável com temperaturas amenas próximas ao litoral. Logo a maior quantidade de precipitação que ocorrerá no verão é na costa leste, e de características convectivas, visto que o alto teor de umidade absorvida no oceano aliada a corrente marítima quente consegue atingir maiores altitudes, gerando instabilidade e precipitação (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980; NIMER 1990; BARRY e CHORLEY, 2013).

No verão, outro sistema que influencia a dinâmica climática do RS, é a cT que se desloca de NW para SE. Originada pelo maior aquecimento do continente em relação ao mar e da depressão térmica continental denominada Baixa do Chaco, ocasiona fortes elevações de temperaturas. Este sistema é extremamente dinâmico, deslocando-se da região Peru-Acre-Rondônia durante os meses de inverno e nos meses de verão desloca-se para a região do Chaco argentino. A constituição do sistema se dá por uma circulação ciclônica na superfície, porém seu baixo índice de umidade específica aliada à forte subsidência da alta pressão em níveis superiores dificultam a formação de nuvens. Esse sistema de baixa interage com a frente polar e faz alterações nas condições meteorológicas de quase todo o país, na Região Sul é responsável pelo verão com pouca precipitação (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980; NIMER, 1990).

3.3 Clima da Região Metropolitana de Porto Alegre

O município de Porto Alegre faz divisa com o município de Canoas e por estarem situados na latitude 30°S e a 100 km do Oceano Atlântico, possuem um clima subtropical úmido, com característica marcante a grande variabilidade do tempo meteorológico ao longo do ano (Tabela 9). Os municípios de Porto Alegre e Canoas localizam-se numa zona de transição climática em que as massas de ar tropical

marítimo (mais frequentes no verão) alternam-se com massas de ar polar marítimo (mais frequentes no inverno). Essa alternância das substituições das massas de ar caracteriza o tempo meteorológico, gerando quedas bruscas de temperatura (LIVI, 2006). O município de Canoas e Porto Alegre formam uma região de conurbação, sendo suas áreas urbanas limítrofes. Por esse motivo será utilizado o comportamento dos elementos climáticos de Porto Alegre para Canoas, visto a dificuldade de encontrar os mesmos dados para o município de estudo. A tabela 9 apresenta os elementos climáticos do município de Porto Alegre, com médias de longo prazo (1991 a 2019).

Tabela 9: Elementos climáticos do município de Porto Alegre.

Temperatura média do ar	19,5°C
Temperatura máxima média do ar	25,39°C
Temperatura mínima média do ar	16,02°C
Temperatura máxima absoluta anual média do ar	40,6°C
Temperatura mínima absoluta anual média do ar	0,3°C
Umidade relativa do ar	75,84%
Precipitação (chuva) anual média	1430 mm
Número de dias de chuva anual médio	148 dias

Fonte: INMET (1991-2019)

Em relação aos dados de precipitação média mensal para o município de Porto Alegre, destacam-se dois estudos realizados em diferentes períodos.

A International Atomic Energy Agency – IAEA (IAEA, 2020) realizou coleta de amostras mensais de precipitação em Porto Alegre no período entre 1965 e 1983 (Tabela 10).

Tabela 10: Precipitação total média mensal de 1965-1983, em Porto Alegre.

Mês	PMM (mm)
Janeiro	98,0
Fevereiro	111,0
Março	95,0
Abril	74,0
Mai	84,0
Junho	136,0
Julho	121,0
Agosto	146,0
Setembro	136,0
Outubro	111,0
Novembro	92,0
Dezembro	101,0
Total	1.305,0

Fonte: José Celso (2018).

Em 2018 o INMET disponibilizou uma atualização da normal climatológica para o Brasil, onde valores de PMM para Porto Alegre se referem ao período de 1981 a 2010. Essa Normal considera os registros de precipitação total mensal realizado no período. Segundo Livi (2006), a linha limite entre as duas massas de ar é chamada de frente fria, que pode se prolongar por vários dias. A frente fria ocorre porque a latitude onde se encontram os municípios de Porto Alegre e Canoas (30°S) estão na zona de transição entre os climas tropical e temperado, favorecendo um tempo meteorológico marcado por frequentes e sucessivas passagens de frentes frias.

A massa de ar frio é mais densa que a quente. A massa de ar frio se introduz por baixo do ar quente e úmido, provocando sua ascensão. Ao ascender, o ar quente resfria-se, e a água em estado de vapor nele contida é condensada. Forma-se, então um conglomerado de nuvens que determinam a ocorrência do tempo meteorológico característico das frentes frias onde estão presentes chuva, vento, redução da temperatura, luminosidade e tempestades. As intensidades das tempestades estão

relacionadas com o gradiente de temperatura existente entre as duas massas de ar. O comportamento da PMM 1981-2010 para Porto Alegre é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Precipitação total média mensal em Porto Alegre (1981-2010).

Mês	PMM (mm)
Janeiro	111,3
Fevereiro	116,5
Março	86,1
Abril	111,8
Mai	117,8
Junho	134,4
Julho	143,0
Agosto	123,3
Setembro	144,0
Outubro	130,9
Novembro	118,7
Dezembro	99,7
Total	1.437,50

Fonte: INMET (2018).

A frente fria pode se estender horizontalmente por centenas de quilômetros. Esse agrupamento de nuvens marca o limite entre as duas massas de ar com temperaturas diferentes. O ar pode se deslocar com velocidades que variam de 200 a 1000 km por dia.

No verão, a atuação mais intensa de uma frente fria atinge áreas menores do continente, do que no inverno. A rota de atuação da frente fria é predominantemente litorânea. Nesse período, as frentes frias são menos frequentes e intensas, deslocando-se com rapidez para o oceano, que a dissipa.

No inverno, a atuação mais intensa de uma frente fria atinge toda a área litorânea do Sul do continente, atingindo grande parte do seu interior. No inverno, as frentes frias são mais frequentes e mais intensas. O resultado final de sua atuação é

o domínio das massas de ar frio sobre as massas de ar quente em grande parte da região meridional da América do Sul.

Após a passagem de uma frente fria, com queda da temperatura, eleva-se a pressão atmosférica e diminui a quantidade de partículas em suspensão, o que melhora a qualidade do ar, principalmente se a chuva for significativa. A chuva representa um importante mecanismo de limpeza da atmosfera (LIVI, 2006).

4. MÉTODOS E TÉCNICAS

4.1 Estação de monitoramento da qualidade do ar Canoas - Parque Universitário

Em 2018 estavam em funcionamento seis estações de monitoramento da qualidade do ar, no Rio Grande do Sul, nos municípios de Gravataí, Triunfo, Charqueadas, Guaíba, Esteio e Canoas. O motivo da escolha inicial pelas estações Canoas - Parque Universitário e Esteio - Vila Ezequiel é por apresentarem séries mais completas e contínuas de dados para as áreas de estudo. Em 2019, porém, a estação de Esteio foi trocada de lugar, ficando inoperante alguns meses. Então optou-se pelo uso de dados exclusivamente da estação Canoas - Pq. Universitário. A Figura 3 mostra a localização dos pontos de coletas dos dados de qualidade do ar, presentes neste trabalho.

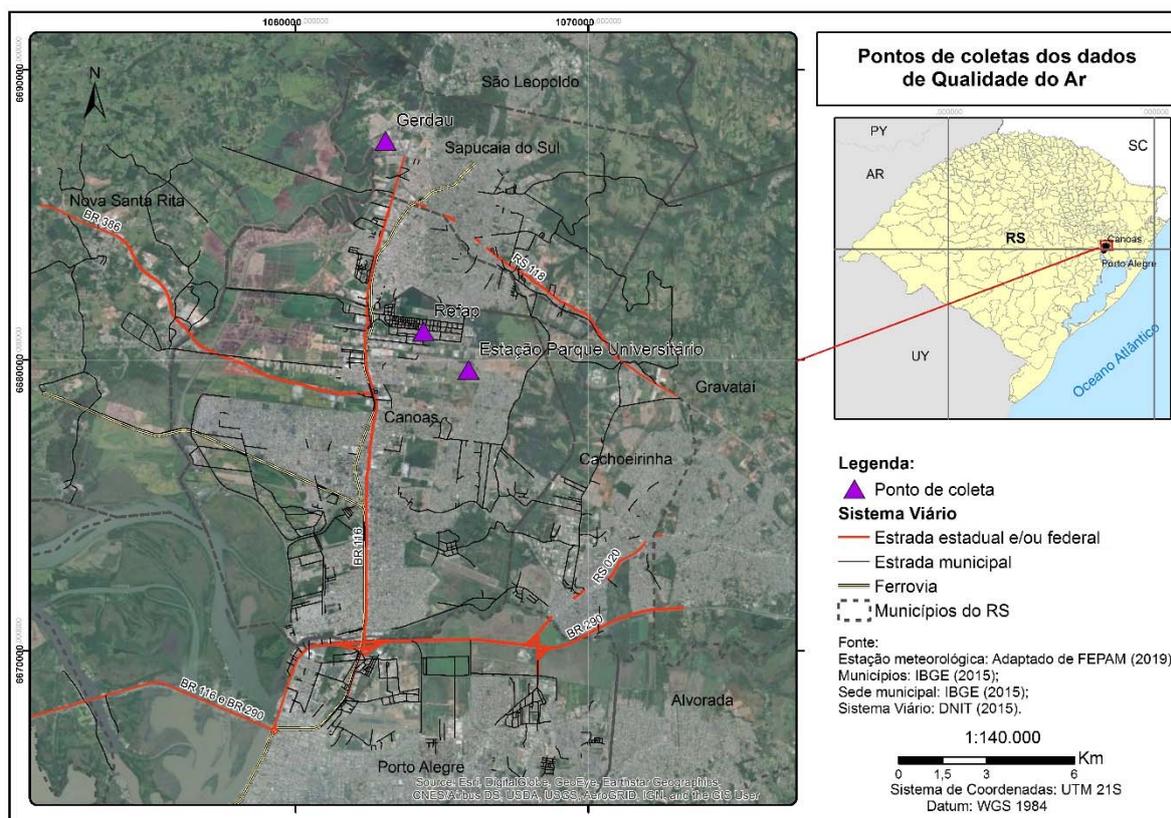


Figura 3: Localização dos pontos de coletas dos dados de qualidade do ar.
Fonte: Aline Goulart.

Os dados das concentrações dos poluentes atmosféricos, utilizados para avaliar a qualidade do ar no município de Canoas pertencem a estação de monitoramento do ar Canoas - Parque Universitário, mantida pela REFAP. A estação situa-se nas coordenadas 29°53'01" S 51°08'40" O, na rua Viana Moog, 101, no Bairro São José, no município de Canoas (Figura 2).

Os poluentes monitorados na estação, são: MP₁₀, NO_x, NO₂, NO, SO₂, CO e O₃. Monitora-se, também parâmetros meteorológicos: direção e velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e pressão atmosférica. Nesse estudo foram analisados os poluentes: CO, SO₂ e MP₁₀. Não foram analisados Nox, NO₂ e NO por apresentarem problemas nas leituras de suas concentrações, a partir de 2016 e o O₃ por ser um poluente secundário. Os analisadores instalados são: CO₁₂M que mede CO por correlação em infravermelho; APSA370 mede SO₂ por fluorescência em ultravioleta e o MP101M para medir MP₁₀ em suspensão.

As medições das concentrações dos poluentes atmosféricos na estação são horárias. Para o CO foram feitas médias de oito horas. O intervalo das médias foi das 00:00 hora às 7:00 horas, das 8:00 h às 15:00 h e das 16:00 h às 23:00 h. Construíram-se tabela e gráfico com as médias do CO no período anterior à paralisação, entre os dias 07/05/18 e 17/05/18. Durante a paralisação dos caminhoneiros, entre os dias 21/05 e 31/05, e no período posterior entre os dias 04/06 a 14/06.

Para o SO₂ e MP₁₀ as médias foram diárias, referindo-se aos mesmos períodos do CO, com construções de tabelas e gráficos.

Foram feitas médias mensais das concentrações do CO, SO₂ e MP₁₀ dos meses de maio de 2005 a 2019, bem como a média do período da paralisação, com construções de tabela e gráficos.

Construiu-se a tabela das concentrações horárias elevadas do MP₁₀ de junho/2018.

4.2 Emissões dos poluentes atmosféricos da REFAP

Os dados referentes as emissões dos poluentes atmosféricos CO, SO₂ e MP₁₀ pela REFAP, nos meses de maio de 2017-2019 foram fornecidos pela empresa,

através do setor de SMS, atendendo pedido da FEPAM. A análise das emissões dessa importante indústria, com capacidade de refino de 32 mil m³ de petróleo por dia, se fizeram necessárias após análise do Índice de potencial poluidor da indústria no Rio Grande do Sul, com base no período de 2002-2015.

4.3 Emissões dos poluentes atmosféricos da Gerdau

Os dados referentes as emissões do MP₁₀ da empresa Aços Longos S.A. Unidade Industrial Gerdau Riograndense, nos anos 2017-2019 foram obtidos do processo administrativo nº 5448.05.67/16.5, junto à FEPAM. As emissões dessa indústria se fizeram necessárias após análise do estudo de Braga et al (2005).

4.4 Precipitação em Porto Alegre

Os dados de precipitação, no mês de maio/2018, para Porto Alegre utilizados pertencem ao INMET, e foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) e são disponibilizados gratuitamente no site <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

4.5 Campos das anomalias de temperatura do ar e vetor vento

Foram elaborados campos médios de anomalias do vetor vento e temperatura média mensal em 925 hPa, para o estado do Rio Grande do Sul, onde podemos observar o comportamento da temperatura e da circulação atmosférica predominante no mês de maio/2018. Foi adotada a climatologia 1979 – 2019 para a plotagem dos campos atmosféricos referentes às latitudes 40° e 25° S e longitudes 60° e 40° W, utilizando linguagem Python 2.7. Assim, os campos do vetor vento e temperatura em 925 hPa possuem resolução espacial de 0,5° x 0,5° latitude/longitude e resolução temporal de 6-6 horas pertencentes ao banco de dados do *National Center for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR v2)*. A escolha de CFSR v2 foi feita pelo fato de seus produtos serem considerados superiores às outras reanálises, em especial às dos anos 1990, feita pelo NCEP, já

que possui maior resolução espacial (38 km), cobrindo a atmosfera, o oceano, o gelo marinho e terrestre, executado em modo acoplado com um modelo mais moderno de assimilação e previsão (SAHA *et al.*, 2010).

4.6 Combustíveis veiculares e suas composições

Foram pesquisadas as composições da gasolina e do óleo diesel, ao longo dos anos, junto à Agência Nacional do Petróleo (ANP), disponível em www.anp.gov.br/petroleo-derivado/combustiveis. No levantamento constam informações dos autores Baird (2011), Kremer (2012) e Ferreira (2017) discorrendo sobre a diminuição dos teores de enxofre no óleo diesel e na gasolina. Apresenta os benefícios para a qualidade do ar resultantes da adição de biodiesel ao diesel e do etanol à gasolina.

4.7 Índice de potencial poluidor da indústria no Rio Grande do Sul

O índice de potencial poluidor da indústria no Rio Grande do Sul define a potencialidade poluidora de cada município, de acordo com parâmetros de poluição hídrica, atmosférica e de resíduos sólidos, durante o período de 2002 a 2015. A pesquisa realizada, junto a Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul (FEE), está disponível em www.fee.rs.gov.br/indicadores-ambientais. Elaborou-se tabelas dos municípios com maiores índices de potenciais poluidores e do percentual de participação no Estado, do município com maior índice.

5. RESULTADOS

5.1 Concentrações dos poluentes da estação Canoas-Parque Universitário

Para avaliar uma possível influência ou efeito da paralisação nacional dos caminhoneiros na qualidade do ar no município de Canoas foram feitas médias das concentrações dos poluentes: CO, SO₂ e MP₁₀.

Para o CO as médias foram de oito horas e médias diárias para o SO₂ e MP₁₀. Os valores médios das concentrações do CO (Tabela 12) referem-se ao período anterior à paralisação (07/maio a 17/maio de 2018), ao período da paralisação (21/maio a 31/maio) e ao período posterior à paralisação (04/junho a 14/junho).

Ao compararmos as concentrações do período anterior com o da paralisação (Tabela 12), constata-se que em seis dias da paralisação houve aumento nas concentrações do CO. Em dois dias as concentrações permanecem iguais e em três diminuem. O aumento das concentrações no período da paralisação totaliza 19,3%.

Comparando as concentrações do CO do período posterior com o da paralisação (Tabela 12), observa-se que em sete dias do período posterior houve diminuição nas concentrações. Em um dia as concentrações permanecem iguais e em três dias aumentam. A diminuição das concentrações no período posterior representa 26%.

As maiores concentrações do CO no período anterior acontecem num sábado e no período posterior ocorrem no fim de semana. Esses dados chamam a atenção, pois a tendência do tráfego de veículos é que seja menor no fim de semana.

Tabela 12: Médias das concentrações do monóxido de carbono (ppm) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.

Dia	Período Anterior		Período Paralisação		Período Posterior	
	Média 8h	Média diária	Média 8h	Média diária	Média 8h	Média diária
Segunda-feira	A=0,06 B=0,06 C=0,12	0,08	A=0,03 B=0,02 C=0,63	0,23	A=0,44 B=0,15 C=0,10	0,23
Terça-feira	A=0,27 B=0,18 C=0,30	0,25	A=0,34 B=0,17 C=0,41	0,31	A=0,16 B=0,11 C=0,21	0,16
Quarta-feira	A=0,34 B=0,31 C=0,65	0,43	A=0,34 B=0,07 C=0,51	0,31	A=0,08 B=0,03 C=0,84	0,32
Quinta-feira	A=0,55 B=0,25 C=0,48	0,43	A=0,45 B=0,31 C=0,54	0,43	A=0,49 B=0,17 C=0,16	0,27
Sexta-feira	A=0,20 B=0,11 C=0,09	0,13	A=0,59 B=0,42 C=0,46	0,49	A=0,27 B=0,08 C=0,67	0,34
Sábado	A=0,06 B=0,23 C=1,04	0,44	A=0,30 B=0,23 C=0,29	0,27	A=0,54 B=0,58 C=0,64	0,59
Domingo	A=0,27 B=0,32 C=0,35	0,31	A=0,30 B=0,33 C=0,54	0,39	A=0,28 B=0,51 C=0,46	0,42
Segunda-feira	A=0,23 B=0,25 C=0,55	0,34	A=0,52 B=0,39 C=0,51	0,47	A=0,28 B=0,26 C=0,11	0,22
Terça-feira	A=0,49 B=0,23 C=0,41	0,38	A=0,48 B=0,24 C=0,43	0,38	A=0,01 B=0,19 C=0,13	0,11
Quarta-feira	A=0,19 B=0,30 C=0,63	0,37	A=0,10 B=0,20 C=0,68	0,33	A=0,08 B=0,17 C=0,15	0,13
Quinta-feira	A=0,46 B=0,18 C=0,12	0,25	A=0,64 B=0,36 C=0,40	0,47	A=0,30 B=0,21 C=0,17	0,23
Soma		3,42		4,08		3,02

Legenda: A = média da 0h à 7h; B = média das 8h às 15h; C = média das 16h às 23h.

Fonte: Autoria própria.

O comportamento médio das concentrações (ppm) do CO nos períodos anterior e posterior e durante a paralisação dos caminhoneiros, na estação Canoas pode ser identificado na Figura 4.

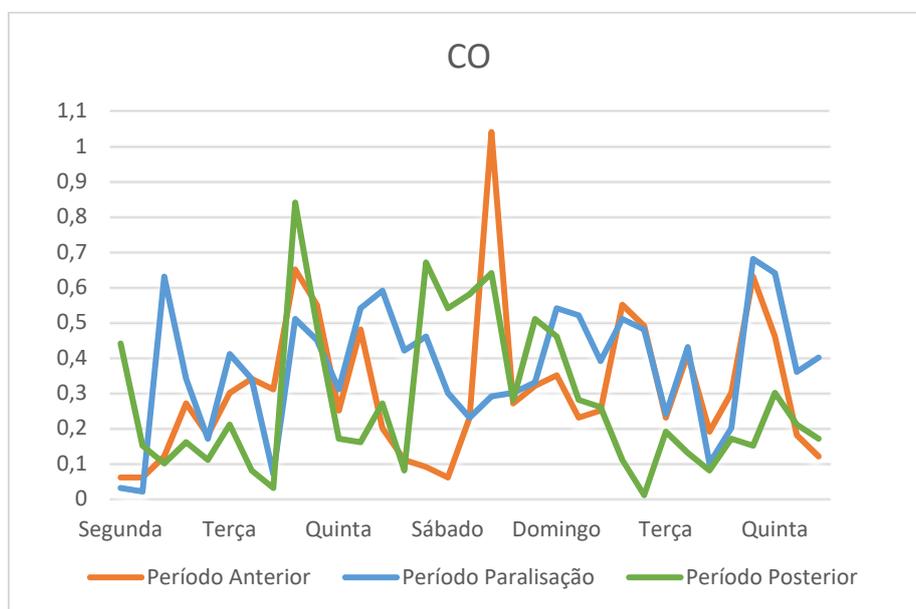


Figura 4: Médias das concentrações do monóxido de carbono (ppm) na estação Canoas nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação dos caminhoneiros.
Fonte: Autoria própria.

Os valores médios das concentrações do SO_2 (Tabela 13) referem-se aos períodos anterior à paralisação (07/maio a 17/maio de 2018), durante a paralisação (21/maio a 31/maio), e posterior a mesma (04/junho a 14/junho).

Ao compararmos as concentrações do SO_2 do período anterior com o da paralisação (Tabela 13), constata-se diminuição de 35,7% durante a paralisação. Comparando as concentrações do SO_2 do período posterior com o da paralisação, verifica-se aumento em oito dias e diminuição em três dias no período posterior. O aumento das concentrações no período posterior representa 20%.

Tabela 13: Médias das concentrações do dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.

Dia	Média SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Anterior	Paralisação	Posterior
Segunda-feira	15,59	12,52	11,09
Terça-feira	16,17	11,84	13,22
Quarta-feira	16,22	11,67	11,18
Quinta-feira	16,23	13,46	11,83
Sexta-feira	30,14	11,22	18,81
Sábado	16,47	10,75	16,01
Domingo	17,35	10,64	11,30
Segunda-feira	16,46	11,02	18,49
Terça-feira	18,93	10,97	14,59
Quarta-feira	16,53	11,11	11,22
Quinta-feira	16,55	11,31	14,03
Soma	196,64	126,51	151,77

Fonte: Autoria própria.

No período anterior as concentrações para o fim de semana são muito próximas dos demais dias da semana, com exceção de sexta-feira (Figura 5). No período posterior, a média do sábado é superior a vários dias da semana. Essas concentrações chamam a atenção, pois a tendência do tráfego de veículos é que seja menor no fim de semana.

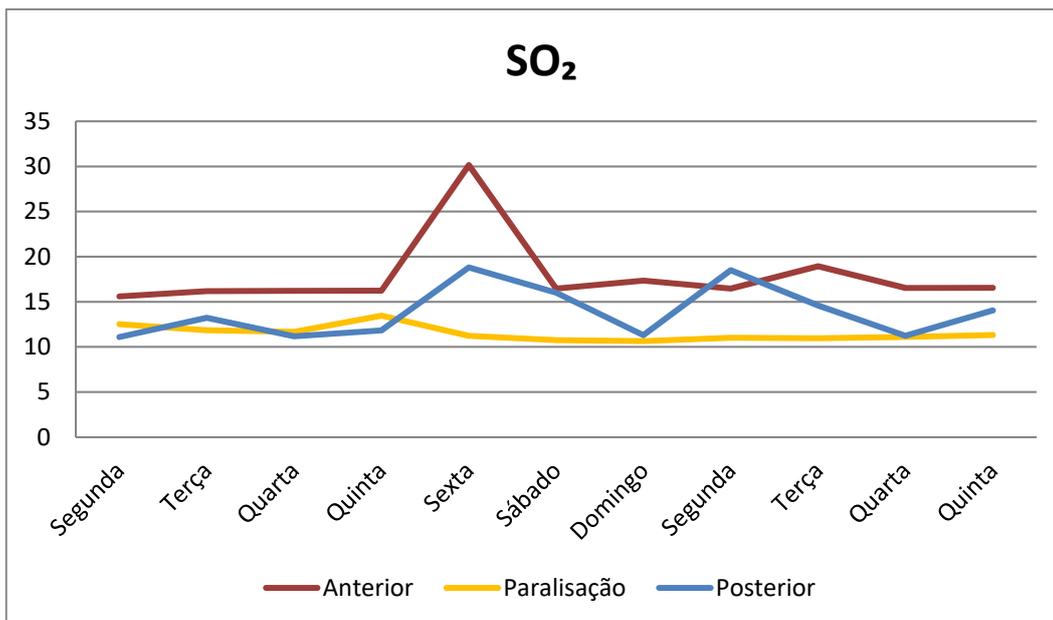


Figura 5: Médias das concentrações do dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas. Fonte: Autoria própria.

Os valores médios das concentrações do MP_{10} (Tabela 14) referem-se ao período anterior à paralisação (07/maio a 17/maio de 2018), ao da paralisação (21/maio a 31/maio) e ao posterior à paralisação (04/junho a 14/junho).

Tabela 14: Médias das concentrações do MP₁₀ (µg/m³) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas.

Dia	Média de MP ₁₀ (µg/m ³)		
	Anterior	Paralisação	Posterior
Segunda-feira	16,65	13,05	26,23
Terça-feira	22,03	21,09	19,22
Quarta-feira	51,12	24,78	16,92
Quinta-feira	48,68	37,50	16,65
Sexta-feira	17,79	37,13	22,03
Sábado	11,52	36,54	51,12
Domingo	26,16	34,21	48,68
Segunda-feira	33,06	34,71	17,79
Terça-feira	33,09	27,75	11,52
Quarta-feira	16,76	33,91	26,16
Quinta-feira	25,10	43,43	33,06
Soma	301,96	344,10	289,38

Fonte: Autoria própria.

Ao compararmos as concentrações do período anterior com o da paralisação (Tabela 14), constata-se aumento em seis dias da paralisação e diminuição em 5. O aumento das concentrações no período da paralisação foi de 13,9%. Comparando as concentrações do período da paralisação com o posterior, observa-se que em oito dias houve diminuição e em três dias aumento. A diminuição das concentrações no período posterior representa 15,9%(Tabela 14).

Destaca-se que no período anterior, as concentrações do domingo são superiores a muitos dias da semana. No fim de semana da paralisação as concentrações são mais elevadas que em alguns dias da semana. No período posterior as maiores concentrações ocorrem no sábado e no domingo (Figura 6). Esses dados chamam a atenção pois nos finais de semana espera-se que o tráfego de veículos seja menor.

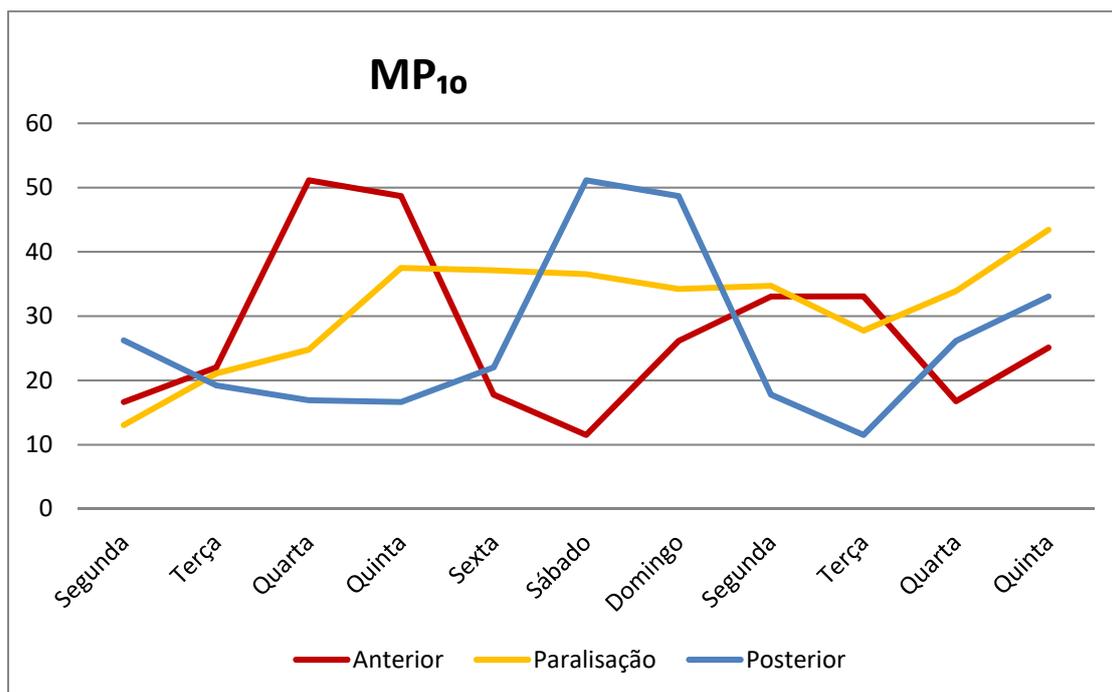


Figura 6- Médias das concentrações do material particulado 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos períodos anterior, posterior e durante a paralisação, na estação Canoas. Fonte: Autoria própria.

As concentrações dos poluentes atmosféricos, CO, SO₂ e MP₁₀ dos meses de maio 2005 a 2019 e do período da paralisação entre os dias 21/05/18 e 31/05/18 são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Médias das concentrações do CO, SO₂ e MP₁₀ nos meses de maio 2005 a maio 2019 e no período da paralisação, na estação Canoas.

	Média de CO (ppm)	Média de SO ₂ (ug/m ³)	Média de MP ₁₀ (ug/m ³)
<i>Maio/2005</i>		6,4	
<i>Maio/2006</i>	0,79	8,2	37,1
<i>Maio/2007</i>	0,56	5,2	30,1
<i>Maio/2008</i>		13,3	53,1
<i>Maio/2009</i>	0,13	5,7	41,7
<i>Maio/2010</i>	0,11	0,6	42,0
<i>Maio/2011</i>	0,16	2,9	37,6
<i>Maio/2012</i>	0,17	1,8	45,3
<i>Maio/2013</i>		1,8	37,4
<i>Maio/2014</i>	0,10	0,8	40,4
<i>Maio/2015</i>			
<i>Maio/2016</i>	0,28	9,7	32,8
<i>Maio/2017</i>	0,32	4,0	19,6
<i>Maio/2018</i>	0,29	15,1	25,1
<i>Maio/2019</i>	0,38	11,5	15,5
<i>Média dos anos</i>	0,30	6,21	35,2
<i>Desvio</i>	0,20	4,7	9,7
<i>Média período da paralisação</i>	0,37	11,5	31,3

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os dados do CO (Tabela 15), verifica-se que maio/2006 é o período de maior concentração, representando um aumento de 163% em relação à média dos anos (0,30). O aumento também ocorre nos anos de 2007 (86,6%), 2017 (6,7%) e 2019 (26,67%). Há diminuição das concentrações nos períodos de 2009 (56,6%), 2010 (63,3%), 2011 (46,6%), 2012 (43,3%), 2014 (66,6%), 2016 (6,6%) e 2018 (3,3%). A média do período da paralisação (0,37) é superada somente nos períodos de 2006 (114%), 2007 (51,3%) e 2019 (3,5%). Nos demais períodos (Figura 7) há uma

diminuição das concentrações em relação à média do período da paralisação. Em 2009 (65%), 2010 (70,2%), 2011 (56,7%), 2012 (54%), 2014(73%), 2016 (24,3%), 2017 (13,5%) e 2018 (21,6%).

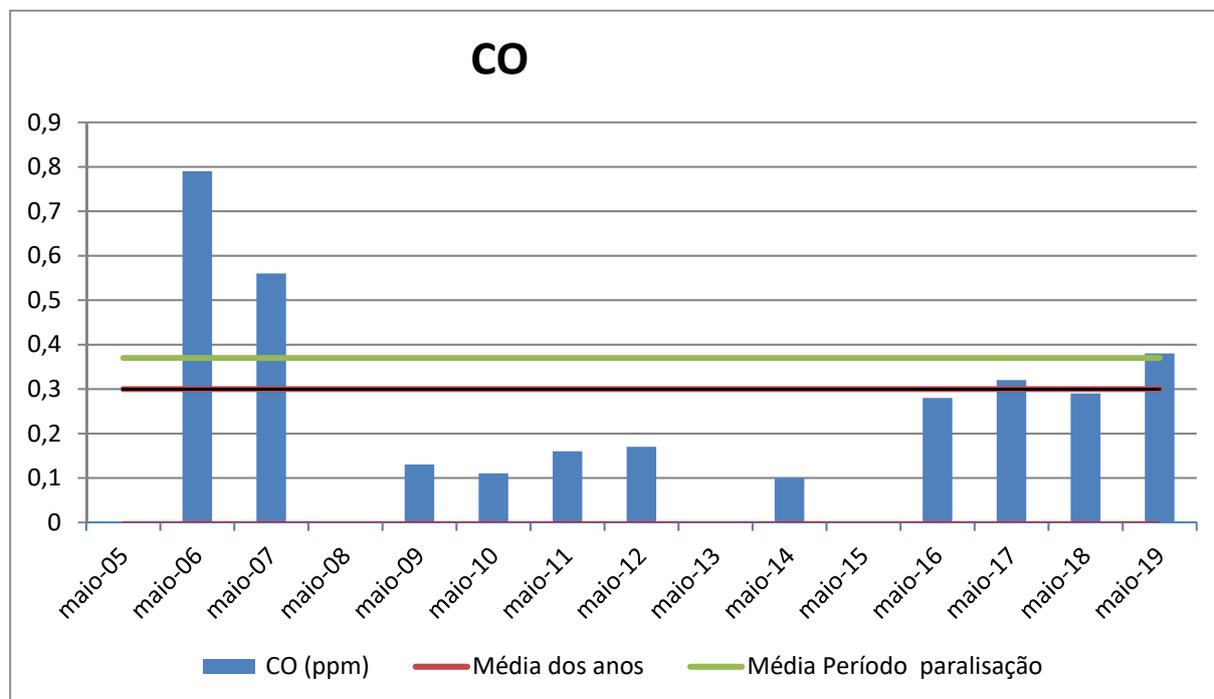


Figura 7: Médias das concentrações do CO (ppm) nos meses de maio de 2006- 2019 e durante a paralisação, na estação Canoas.

Fonte: Autoria própria.

As concentrações do SO₂ (Tabela 15) são maiores no período de 2018, representando um aumento de 143% em relação à média dos anos (6,21). O aumento também ocorre em 2005 (2,9%), 2006 (32%), 2008 (114%), 2016 (56,2%) e 2019 (85,2%). Há diminuição em relação à média dos anos em 2007 (16,2%), 2009 (8,2%). 2010 (90,3%), 2011 (53,3%),2012 (71%), 2013 (71%), 2014 (87,1%) e 2017 (35,6%). A média do período da paralisação (11,5) é superada somente nos períodos 2018 (31,3%) e 2008 (15,6%). Nos demais períodos há diminuição das concentrações em 2005 (44,3%), 2006 (28,7%), 2007 (54,8%), 2009 (50,4%), 2010 (94,7%), 2011 (74,8%), 2012 (84,3%), 2013 (84,3%), 2014 (93,1%), 2016 (15,7%) e 2017 (65,2%). A concentração de 2019 é igual a média do período da paralisação (Figura 8).

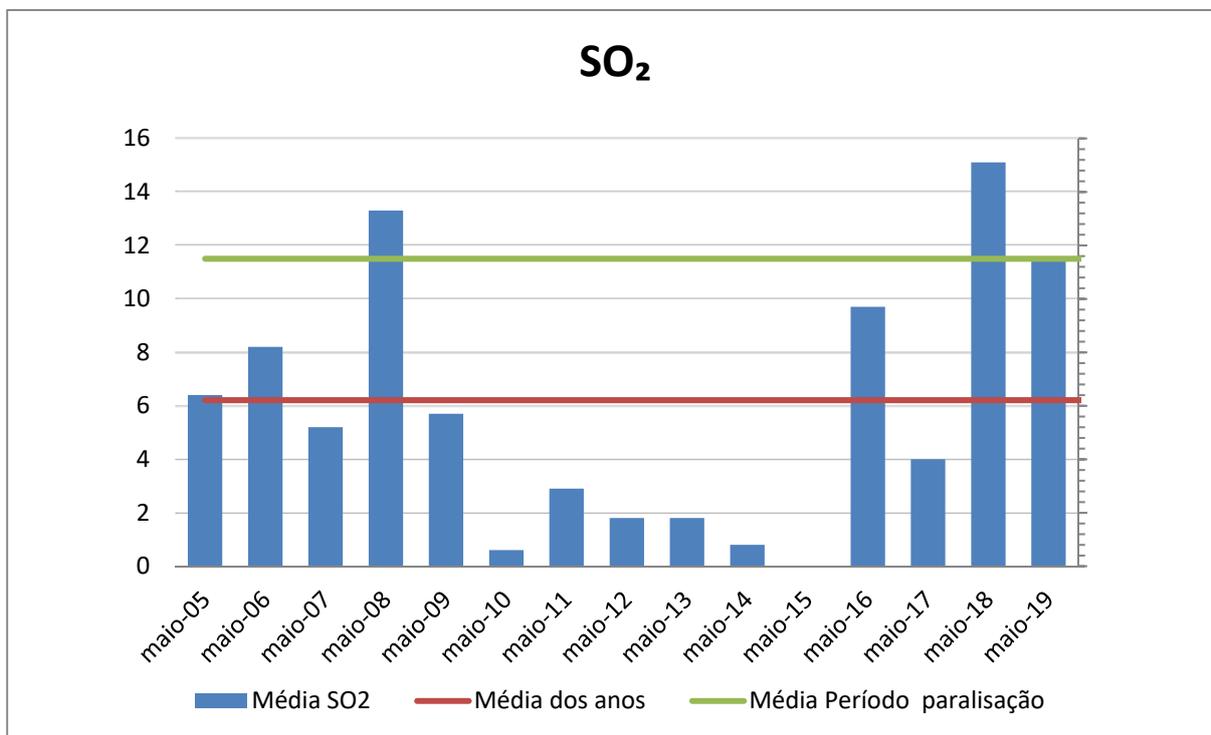


Figura 8: Médias das concentrações do SO₂, nos meses de maio de 2005- 2019 e durante a paralisação, na estação Canoas.

Fonte: Autoria própria.

Na tabela 15 identificamos as maiores de concentrações de MP₁₀ no período de maio/2008, representando um aumento de 50,8%, em relação à média dos anos (35,2). Os seguintes períodos (Figura 9) também possuem concentrações superiores ao da média dos anos: 2006 (5,4%), 2009 (18,4%), 2010 (19,3%), 2011 (6,8%), 2012 (28,7%), 2013 (6,2%) e 2014 (14,8%). Os períodos que ficaram abaixo da média dos anos: 2007 (14,5%), 2016 (6,9%), 2017 (44,3%), 2018 (28,7%) e 2019 (56%). A média do período da paralisação (31,3) é superada nos períodos de 2006 (18,6%), 2008 (69,6%), 2009 (33,3%), 2010 (34,2%), 2011 (20,2%), 2012 (44,7%), 2013 (19,5%), 2014 (29,1%), e 2016 (4,8%). Os períodos seguintes têm médias menores que o da paralisação: 2007 (3,9%), 2017 (37,3%), 2018 (19,9%) e 2019 (50,5%) (Figura 8).

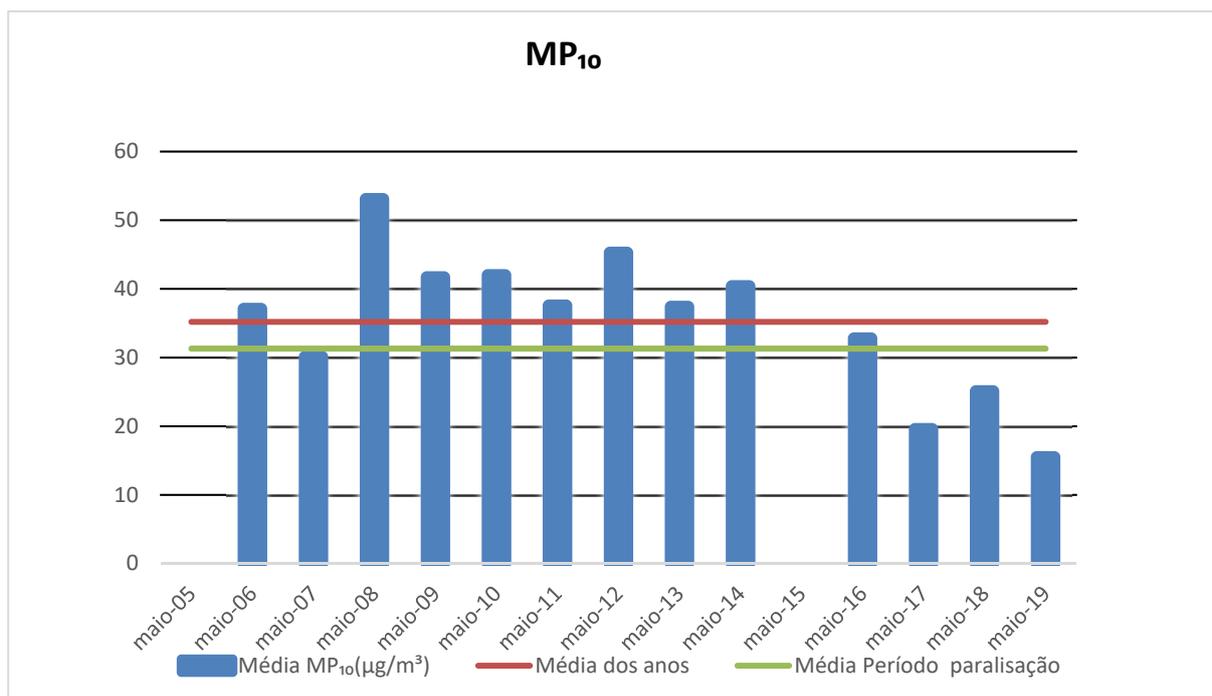


Figura 9: Médias das concentrações de MP₁₀, nos meses de maio de 2006-2019 e durante a paralisação, na estação Canoas.

Fonte: Autoria própria.

A Resolução do Conama 03/90 estabelece como padrões primário e secundário da qualidade do ar o limite máximo de concentração para MP₁₀ de 150 µg/m³, para a média diária. Conforme análise de junho/2018 verifica-se concentrações horárias de MP₁₀ superiores a 150 µg/m³. Diante desses dados resolveu-se construir tabela com as concentrações horárias de MP₁₀, por se tratar do período posterior à paralisação.

Tabela 16: Concentrações horárias do MP₁₀, em junho/2018, na estação Canoas.

JUNHO/2018	Dia	Hora (h)	Concentração (µg/m ³)	Concentração Média 24h
	04	23	230,24	194,34
	05	00	715,79	
		01	1.021,01	
		02	1.020,99	
		03	807,09	
		04	466,83	
		05	234,03	

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os dados (Tabela 16) constata-se que as elevadas concentrações horárias do MP₁₀, superiores a 150µg/m³, são representadas apenas na média do dia 05/06 e que todas as concentrações são noturnas.

Geralmente, no período noturno a estabilidade atmosférica causada pelo resfriamento do ar inferior cessa movimentos ascendentes, e a tendência é o aumento das concentrações dos poluentes (DAMILANO, 2006).

5.2 Identificação das emissões da REFAP

A REFAP localiza-se Av. Getúlio Vargas,11001 no município de Canoas (29°52'20"S;51°09'39") com área de 580 hectares. Processa 32 mil m³/dia de petróleo, com foco na produção de óleo diesel, gasolina, GLP, óleo combustível, querosene de aviação, solventes, asfalto, coque, enxofre e propeno. Os dados da Tabela 17 representam as emissões dos poluentes atmosféricos CO, SO₂, e MP₁₀ pela refinaria no mês de maio 2017-2019, expressos em toneladas por mês.

Tabela 17: Emissões dos poluentes atmosféricos da REFAP (T mês⁻¹).

Maio	2017	2018	2019
CO	88,9	73,9	102,5
SO ₂	285,2	259,2	300,8
MP ₁₀	24,9	22,5	29,1

Fonte: REFAP (2019).

Na Tabela 17, comparando os meses de maio 2017-2018 constata-se que as emissões dos poluentes diminuem em 2018. O percentual de redução para o CO é 16,9%, para o SO₂ é 9,1% e para o MP₁₀ é de 9,7%. Comparando os meses de maio de 2018 e 2019, verifica-se aumento das emissões no ano de 2019. O percentual de aumento para o CO é 38,7%, para o SO₂ é 16,08% e para o MP₁₀ é de 29,3%. A dificuldade de obter os dados das emissões da REFAP nos períodos anterior,

posterior e durante a paralisação reside no fato de existirem numerosos locais de emissões dos poluentes atmosféricos, na indústria.

5.3 Identificação das emissões da Gerdau

A FEPAM pelo processo administrativo nº 5448.05.67/16.5 concedeu Licença de Operação 00145/2017-DL à empresa Gerdau Aços Longos S.A. Unidade Industrial Gerdau Riograndense. A siderúrgica está localizada na Av. Borges de Medeiros, 650, no Bairro São José, no município de Sapucaia do Sul (29°48'51"S; 51°10'40"W). A unidade tem capacidade de produção de 440 mil toneladas/ano de aço e 400 mil toneladas/ano de laminados, atendendo os setores da construção civil, indústria e agropecuário. Com vistas ao volumoso processo, com mais de 4 mil páginas, foram obtidos dados das emissões do material particulado da chaminé de despoeiramento Shredder (Tabela 18) e forno de recozimento da chaminé 2 (Tabela 19).

Tabela 18: Emissões de Material Particulado da Chaminé de Despoeiramento Shredder, da Gerdau.

Data da coleta	Intervalo da coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	Média coletas
09/10/17	22:10-23:12 h	552			
	23:24-00:26 h		418		
10/10/17	00:35-01:38			335	
Médias coletas 2017					435
30/04/18	22:10-23:15	344			
	02:15-03:17		181		
01/05/18	01:00-02:03			355	
Médias coletas 2018					293
21/05/19	22:36-23:38	194			
	23:50-00:51		123		
22/05/19	01:05-02:07			37,3	
Médias coletas 2019					118

Concentração nos gases mg/Nm³ (miligramas por normal metro cúbico).

Fonte: Autoria própria com dados processo administrativo nº 5448.05.67/16.5 da Gerdau Aços Longos S.A. Unidade Industrial Gerdau Riograndense, junto à FEPAM.

Constata-se que as emissões de MP, são superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 436/2011 no anexo XIII, que é de 50 mg/Nm³, exceto na coleta do dia 22/05/19 (Tabela 18).

A Tabela 19 mostra as emissões de material particulado do forno de recozimento da chaminé 2.

Tabela 19: Emissões de Material Particulado do Forno de Recozimento da Chaminé 2, da Gerdau.

Data da coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	Média das coletas
24/05/19	5,92	132,81	11,89	50,21

Concentração nos gases mg/Nm³

Fonte: Autoria própria com dados processo administrativo nº 5448.05.67/16.5 da Gerdau Aços Longos S.A. Unidade Industrial Gerdau Riograndense, junto à FEPAM.

Verifica-se que somente as emissões da segunda coleta são superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 436/2011 no anexo XIII. (Tabela 19).

Na página 1936 do processo administrativo nº 5448.05.67/16.5 consta que as emissões do MP na chaminé de Shredder se mantém acima do estabelecido pela legislação, com média de 157 mg/Nm³ nos últimos cinco anos.

No dia 27 de maio de 2018, durante a paralisação dos caminhoneiros, ocorreu incêndio nas dependências da referida siderúrgica com duração aproximada de 20 minutos, gerando maiores emissões de MP para a atmosfera.

5.4 Precipitação de maio/2018 no município de Porto Alegre

Analisando os dados de precipitação no mês de maio de 2018, em Porto Alegre observa-se a concentração em praticamente 4 dias (Tabela 20). O maior volume de precipitação ocorre nos dias 18 (31,8 mm) e 19/maio (42,4mm). Esse volume expressivo de precipitação retirou os poluentes da atmosfera e os depositou na superfície, através do processo denominado deposição úmida (BAIRD,2011). Observa-se que o volume total de precipitação em maio de 2018 é praticamente o valor da climatologia 1961-1990.

Tabela 20: Precipitação em maio de 2018 no município de Porto Alegre.

Precipitação (mm)						
Evento 01/05/18	Evento 11/05/18	Evento 18 e 19 maio/18	Maio/2018	Climatologia (maio)	Dias de chuva maio/2018	Dias de chuva de maio climatologia
6.0 mm	9.8 mm	74.2 mm (31,8+42,4)	91.8 mm	90 mm (61-90)	10	8

Fonte: INMET (2018).

Assim, no início da paralisação nacional dos caminhoneiros (21 de maio) provavelmente a poluição atmosférica na região de Canoas era muito baixa, em função da precipitação ter “lavado a atmosfera” nos dias 18 e 19 de maio.

O gráfico da Figura 10 compara a precipitação acumulada da Climatologia de 1931-1960 (115 mm) com a 1961-1990 (90 mm).

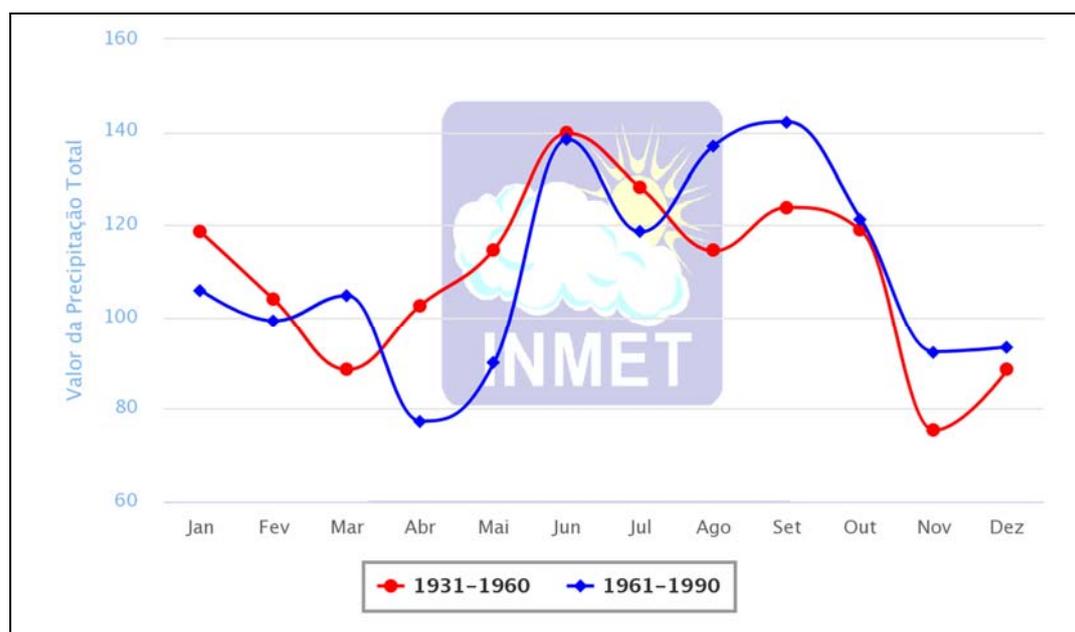


Figura 10: Normais Climatológicas de precipitação 1931-1960 e 1961-1990 para Porto Alegre.
Fonte: INMET (2018).

5.5 Comportamento da atmosfera na área de estudo

Para ampliar a análise da influência da paralisação nacional dos caminhoneiros na qualidade do ar na área de estudo, montou-se campos das anomalias de temperatura do ar e vetor vento em 925 hPa, dos meses de maio entre 2009 e 2018. Na análise dos campos de anomalias podemos observar o comportamento da temperatura e da circulação atmosférica predominante nestes meses. Observa-se que nos meses em que há anomalias de vento sul ou leste as anomalias de temperaturas são negativas enquanto que as anomalias positivas ocorrem com predomínio de circulação de norte. No mês de maio/2018 observa-se anomalias positivas de

temperatura de até 1,0°C e circulação de norte (até 1 m s⁻¹) não interferindo na concentração dos poluentes atmosféricos na RMPA (Figura 11).

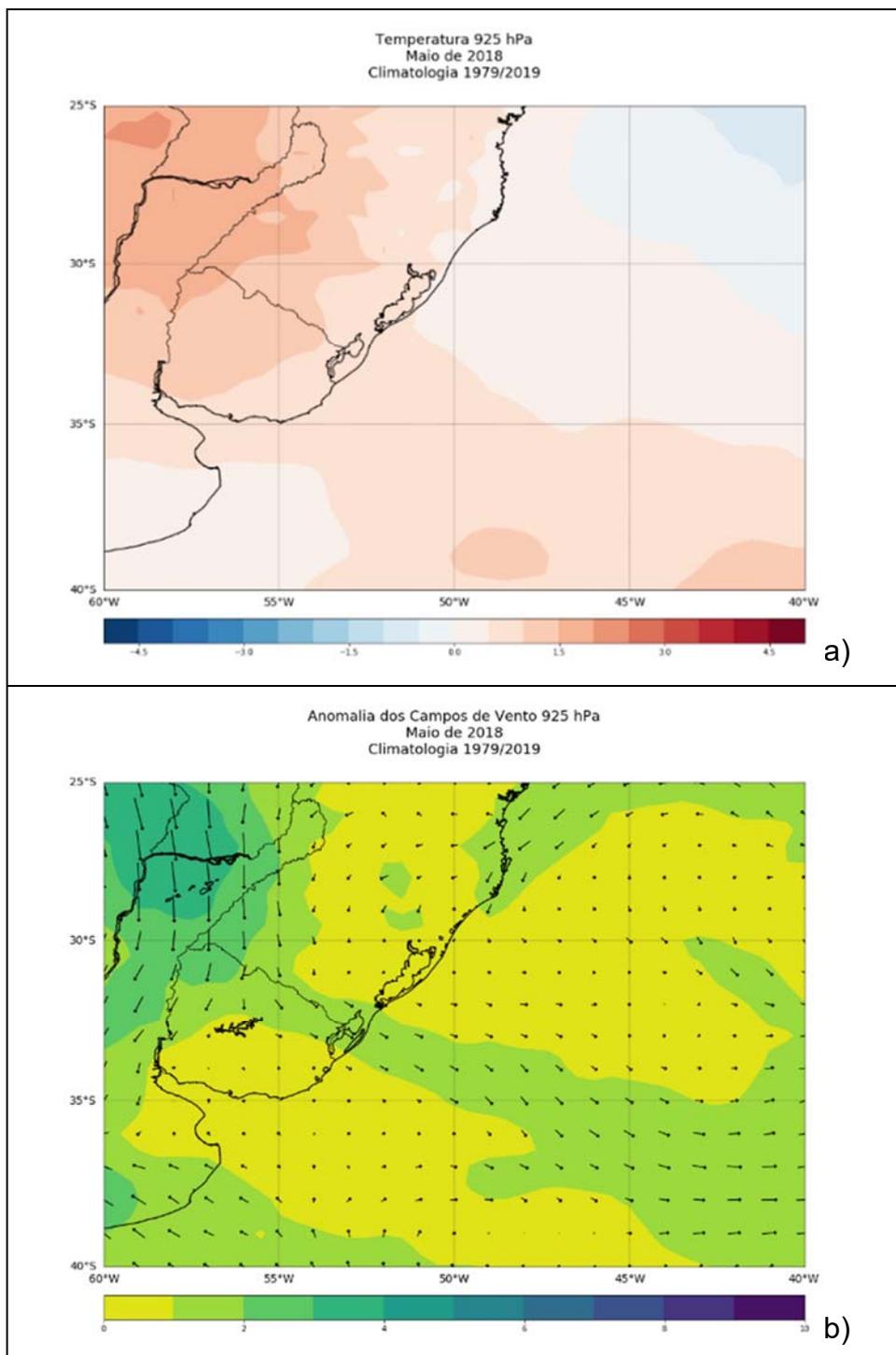


Figura 11: Campos de anomalias de temperatura (°C) e vetor vento (m s⁻¹) no mês de maio/2018, na área de estudo.

Fonte: Pedro Reis.

Sabe-se que a circulação geral da atmosfera interfere na dispersão dos poluentes atmosféricos, uma vez que a movimentação das grandes massas de ar afeta a circulação local, assim como a precipitação (DAMILANO, 2006; BARRY e CHORLEY, 2012).

5.6 Evolução dos combustíveis rodoviários no Brasil

Em 1986 foi lançado no Brasil o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores para veículos leves- PROCONVE com o objetivo diminuir as emissões de poluentes atmosféricos através da melhoria da qualidade dos combustíveis e da tecnologia do motor (MMA,1986).

Conforme a ANP, o óleo diesel é um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos (contendo carbono), enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais. É utilizado em motores de combustão interna e de ignição por compressão. O óleo diesel de uso rodoviário classifica-se **A**, sem adição de biodiesel e em **B**, que é óleo diesel **A** adicionado de biodiesel. A obrigatoriedade da adição de biodiesel ao diesel, no Brasil, inicia-se em 2008, com gradual aumento do percentual, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 21: Teores de biodiesel no óleo diesel, no Brasil

Até 2007	2008	Jul 2009	Jan 2010	Ago 2014	Nov 2014	Mar 2017	Mar 2018	Mar 2019	Mar 2020
Facultativo	3%	4%	5%	6%	7%	8%	10%	11%	12%

Fonte: Autoria própria, adaptado do site da ANP.

Segundo Baird (2011), a adição do biodiesel ao diesel promove uma redução das emissões de CO, SO e principalmente MP, apesar do aumento nas emissões de NO_x. O incremento de NO_x é de 2% a 4% para **B20** (biodiesel 20), mas deve ser considerado porque é um dos precursores do O₃ troposférico.

Atualmente os tipos de óleo diesel, de uso rodoviário, vigentes são:

S10- com teor de enxofre, máximo, de 10 mg/kg. Possibilita a redução das emissões de MP em até 80% e de óxidos de nitrogênio em até 98%. É obrigatória a utilização desse combustível nas frotas cativas de ônibus urbanos de Porto Alegre.

S500- com teor de enxofre, máximo, de 500 mg/kg. É conhecido como diesel comum e adequados a veículos fabricados antes de 01/01/2012. Esses veículos também poderão utilizar o diesel S-10. A Tabela 22 mostra a redução dos teores de enxofre presentes no óleo diesel, no Brasil.

Tabela 22: Teores de enxofre no óleo diesel, no Brasil.

Até 1992	1993	1996	1998	2002	2006	2009	2014
13.000	10.000	10.000	5.000	3.000	2.000	500	500
	5.000	5.000	3.000	2.000	500	50	10

Unidade: mg/kg

Fonte: Petrobras (2014)

A gasolina é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, contendo carbono. As gasolinas comercializadas no país são a **A**, sem adição de etanol e a gasolina **C**, com adição de etanol. A Tabela 23 mostra a redução dos teores de enxofre nas gasolinas, no Brasil.

Tabela 23: Teores de enxofre nas gasolinas, no Brasil

	1998	1999	2011	2014
Gasolina A	1900	1200	1200	1200
Gasolina C	1500	1000	800	50

Unidade: mg/kg

Fonte: ANP (2016).

Segundo Baird (2011) o etanol pode ser usado puro ou adicionado à gasolina. É representado pela letra **E** seguido por um subscrito que indica a percentagem de álcool na mistura gasolina-etanol. Resulta numa menor emissão de CO e MP, quando comparado às emissões da gasolina pura ou do diesel. As emissões de NO_x pelo uso do etanol são mais baixas quando comparadas com o da gasolina. Entretanto, o uso de etanol emite PAN, um poluente importante. Outro fator negativo, na produção do etanol é o uso de biomassa (bagaço de cana-de-açúcar) como fonte de energia para a destilação do etanol, que emite MP, junto com a fumaça.

Segundo Petrobras, a Tabela 24 mostra os teores de etanol na gasolina, ao longo dos anos.

Tabela 24: Teores de etanol na gasolina, no Brasil.

Anos	2007	2011	2015
Percentuais	25	20	27

Fonte: Petrobras (2017).

A análise das tabelas 21, 22, 23 e 24 retratando as alterações nos combustíveis com diminuições das emissões do CO, SO₂ e MP₁₀, não estabelecem uma correlação com as concentrações dos poluentes apresentados na Tabela 15.

5.7 Índice de potencial poluidor da indústria no Rio Grande do Sul

O índice de potencial poluidor da indústria (Inpp-I) define a potencialidade poluidora, de acordo com parâmetros de poluição hídrica, atmosférica e de resíduos sólidos, para os municípios do estado do Rio Grande do Sul. Elaborado pela Fundação de Economia e Estatística- RS (FEE-RS, 2018), abrangendo o período 2002-2015.

O Inpp-I é definido como a síntese da concentração das atividades industriais em relação ao seu potencial de poluição e evolução do volume de produção por unidade geográfica. Os indicadores de potencial poluidor da indústria no Rio Grande do Sul apontam para uma tendência de aumento do risco ambiental no período 2002-2015, com crescimento tanto da dependência das atividades poluidoras, quanto do

volume de produção potencialmente poluidora. Esses índices podem fornecer subsídios para implementação de políticas públicas, em especial, para a orientação de ações preventivas que equalizem o risco decorrente das atividades com alto potencial poluidor (FEE-RS, 2018).

Em relação à participação dos municípios no volume de produção potencialmente poluidora, em 2015, 59,5% desse volume ficou concentrado em apenas 10 municípios: Canoas, Caxias do Sul, Triunfo, Gravataí, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Cruz do Sul, Bento Gonçalves, São Leopoldo e Erechim. Destaca-se que seis entre esses municípios se encontram na Região Metropolitana de Porto Alegre e dois na Região Metropolitana da Serra. Em 2015, quase a metade dos municípios gaúchos (242) dependiam de indústrias com alto potencial poluidor, enquanto apenas 25 municípios (5%) concentravam indústrias com baixo risco ambiental (FEE,2018). A Tabela 25 apresenta os nove municípios com os maiores índices de potencial poluidor do Estado, no período 2002-2015

Tabela 25: Índice de Potencial Poluidor da Indústria - I, do período de 2002-2015, no Rio Grande do Sul.

ANO	Canoas	Caxias do Sul	Triunfo	Gravataí	Porto Alegre	Rio Grande	Santa Cruz do Sul	Novo Hamburgo	Bento Gonçalves
2002	10,5	9,70	7,6	5,3	4,4	3,5	2,3	2,6	1,7
2003	11,3	9,6	9,8	4,6	4,0	4,0	2,1	2,4	1,4
2004	11,4	11,1	11,8	4,3	3,8	3,4	2,7	2,4	1,7
2005	16,8	9,8	11,0	3,8	3,3	2,0	2,1	2,0	1,6
2006	12,1	9,8	11,9	4,5	3,3	2,1	1,9	2,1	1,6
2007	14,0	10	12,1	6,1	3,3	3,7	1,8	2,1	2,0
2008	17,7	10	10,7	5,8	3,4	3,2	1,6	2,0	1,6
2009	20,6	8,3	7,9	5,4	3,6	3,3	1,7	1,6	1,6
2010	17,2	10,9	9,2	6,2	4,0	2,9	1,9	1,8	1,9
2011	17,5	11,5	8,9	6,0	4,6	3,0	2,0	1,8	1,9
2012	17,2	10,1	8,3	5,3	4,1	3,2	1,8	1,6	2,2
2013	19,6	10,6	8,9	7,1	4,1	4,8	2,1	1,5	2,0
2014	18,7	9,2	8,7	6,6	4,0	4,3	2,2	1,4	1,9
2015	17,1	6,8	9,3	5,2	3,1	3,7	1,9	1,3	1,6

Fonte: Autoria própria, adaptado da FEE -RS.

Analisando os dados da Tabela 25, verifica-se que o município de Canoas é o mais crítico de todo o estado, em termos do volume da produção industrial e de risco ambiental, no período, com exceção do ano 2004. O Inpp-I do município Canoas aumentou 62,8% entre 2002/2015.

A Tabela 26 apresenta o percentual de participação do município de Canoas, no Estado, referente produção potencialmente poluidora.

Tabela 26: Percentual de Participação do Índice de Potencial Poluidor da Indústria - I, do período de 2002-2015, do município de Canoas, no Rio Grande do Sul.

Ano	Participação sobre o Estado %
2002	12,0
2003	12,8
2004	12,9
2005	19,1
2006	13,9
2007	15,9
2008	20,0
2009	23,4
2010	19,5
2011	19,8
2012	19,5
2013	22,2
2014	21,2
2015	19,4

Fonte: Autoria própria, adaptado da FEE – RS.

Em relação a Tabela 26, conclui-se que o percentual de participação do Inpp-I do município de Canoas no Estado é alto em praticamente todo o período, atingindo sua maior participação no ano de 2009, com 23,4%. O percentual de participação da indústria canoense representa 19,4% do estado no ano de 2015 e aumentou 61,6% no período 2002-2015.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo investigou a possível influência da paralisação nacional dos caminhoneiros, no período de 21 a 31 de maio de 2018, nos padrões de qualidade do ar no município de Canoas-RS. Seguindo as metas estabelecidas nesse estudo, as seguintes conclusões foram obtidas:

- As concentrações do dióxido de enxofre, tiveram influência na melhoria da qualidade do ar, no município de Canoas, durante a paralisação nacional dos caminhoneiros. Ocorreu diminuição de suas concentrações em todos os dias da paralisação, totalizando 35,7%, quando comparadas com o período anterior à paralisação. No período posterior as concentrações do SO₂ aumentaram 20%, quando comparadas com o período da paralisação;
- As concentrações do monóxido de carbono e material particulado não tiveram influência na melhoria da qualidade do ar, no município de Canoas, durante a paralisação nacional dos caminhoneiros. Visto que, suas concentrações aumentaram em vários dias durante a paralisação, mesmo com um evento de intensa precipitação (18 e 19 de maio) na véspera da paralisação ter lavado a atmosfera em toda região. O aumento das concentrações do CO foi 19,3% e do MP₁₀ 13,9% no período da paralisação, quando comparado com o período anterior. No período posterior as concentrações do CO diminuem 26% e do MP₁₀ 15,9% quando comparadas com o período da paralisação;
- Analisando as médias das concentrações dos poluentes nos meses de maio de 2005 a 2019 e do período da paralisação conclui-se que a média do CO (0,37) e do SO₂ (11,5) são superiores no período da paralisação. Para MP₁₀, conclui-se que a média do período da paralisação (31,3) é inferior à média dos anos (2005-2019);
- Quanto às elevadas concentrações horárias de MP₁₀, no mês de junho/2018, conclui-se que essas concentrações são noturnas e aparecem na média do dia 05/06;

- As emissões dos poluentes atmosféricos da REFAP diminuem em maio/2018, quando comparadas com maio/2017. Entretanto, não é possível concluir que possam ter contribuído para a melhoria dos padrões de qualidade do ar, no município de Canoas durante a paralisação dos caminhoneiros, pela impossibilidade de obtenção de dados neste período específico;
- Analisando as emissões de MP₁₀ da Gerdau Aços Longos em datas específicas no período 2017-2019, conclui-se que na maioria das coletas, ocorre a ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar estabelecidos na Res. Conama 436/11 no Anexo XIII. Entretanto, não é possível concluir que possam ter contribuído para a melhoria dos padrões de qualidade do ar, durante a paralisação dos caminhoneiros, pela inexistência de monitoramento das emissões no referido período;
- Ao iniciar a paralisação nacional dos caminhoneiros, no dia 21 de maio, conclui-se que os níveis de poluição atmosférica na região de Canoas eram baixos, em função da precipitação expressiva, 82,4% do esperado para o mês, nos dias 18 e 19 de maio;
- Ao analisarmos os campos das anomalias de temperatura do ar e vetor vento predominantes no mês de maio/2018 conclui-se que as anomalias são positivas de temperatura de até 1,0°C e ventos de circulação norte (até 1 m s⁻¹) na RMPA e que não interferem nas concentrações dos poluentes atmosféricos;
- Ao analisar o índice de potencial poluidor da indústria no estado do Rio Grande do Sul, do período 2002-2015, conclui-se, que o município de Canoas possui o maior índice de potencial poluidor, exceto em 2004. No período 2002-2015 o índice aumentou 62%.
- Conclui-se a existência da precariedade do monitoramento da qualidade do ar no estado do Rio Grande do Sul, em função de sua pouca abrangência e descontinuidade na obtenção dos dados. O programa AR DO SUL da FEPAM já possuiu 14 estações de monitoramento do ar em operação, instaladas em nove municípios do estado. Durante a realização deste trabalho a quantidade das estações em funcionamento variou de seis a duas e todas por responsabilidade de empresas. O município de Porto Alegre é uma metrópole e não possui monitoramento da qualidade do ar há 11 anos, retratando o

descaso como a qualidade do ar é tratada pelo estado. A inexistência de monitoramento do ar em municípios com índices expressivos de poluição no estado é muito preocupante. Não há penalização ao estado pelo ineficiente monitoramento da qualidade do ar enquanto apenas uma estação estiver em funcionamento. Outro problema encontrado, foram as falhas na leitura dos dados na estação Canoas- Parque Universitário, afetando a qualidade do monitoramento do ar. Junto à FEPAM, no serviço de licenciamento e de monitoramento de indústrias (SELMI) houve dificuldades de obtenção de dados do monitoramento do ar da Gerdau Aços Longos. Para obtenção dos dados da referida empresa pedi vistas ao seu processo administrativo e necessitei estar acompanhada de advogada durante toda a análise do processo de quatro mil páginas. Outra dificuldade encontrada foi a obtenção das emissões da REFAP durante o período da paralisação dos caminhoneiros porque a exigência da FEPAM é que sejam fornecidas por mês. O setor de monitoramento da qualidade do ar da FEPAM sempre foi muito eficiente na prestação de dados e informações.

- A continuação da pesquisa é possível com a análise de outros parâmetros meteorológicos no comportamento da dispersão da poluição. A pesquisa pode incluir as emissões de indústrias de cimentos e fertilizantes, pois são fontes importantes de material particulado na atmosfera. Outro item importantíssimo na continuação da pesquisa é a influência da poluição atmosférica na saúde pública.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO- Disponível em www.anp.gov.br/petroleo-derivado/combustiveis Acesso em 03/04/2019.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2002, 332 p.

BAIRD, C., CANN, M. **Química ambiental**.4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARRY, R.G., CHORLEY, R.J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. Ed.- Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERLATO, M. A. 1992. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H. (coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universidade (UFRGS). 124 p.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAGA, C.F.; TEIXEIRA, E.C.; MEIRA, L.; WIEGAND, F.; YONEMA, M.L.; DIAS, J.F. **Elemental composition of PM₁₀ and PM_{2,5} in urban environment in South Brazil.2005**. Atmospheric Environment.39.1801-1815.

BRASIL. **Ministério das Cidades, Denatran 2016**. Rio de Janeiro: IBGE,2020. <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 03/03/2020.

CARVALHO, V.S.D. **O impacto das megacidades na qualidade do ar em escala local e regional: os casos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro**. 2010, 237p. Tese de Doutorado em Meteorologia - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo.

CAVALCANTI, Iracema F. A. *CAVALCANTI*, Iracema. F. A.; FERREIRA, Nelson. J.; SILVA, Maria. G. A. J.; DIAS, Maria. A. F. S. (*Org.*). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2009.

CONSTITUIÇÃO FEDERAL BRASILEIRA.

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 04/04/19.

DAMILANO, D.C.R. **Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos**. 2006, 44 p. Relatório final de projeto de iniciação científica – CPTEC/INPE, São José Dos Campos.

FELTRE, R. **Fundamentos da química**: volume único, 4.ed.- São Paulo: Moderna, 2005.

FEPAM <http://www.fepam.rs.gov.br/>. Acesso em 05/05/19.

FREITAS, E.D. **Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes**. 2003, 176p. Tese de Doutorado em Meteorologia- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em www.fee.rs.gov.br/indicadores-ambientais. Acesso em 05/06/2019.

GRIEBLER JÚNIOR, J.C. **Origem da precipitação no Rio Grande do Sul a partir da composição isotópica**. Dissertação de mestrado em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Porto Alegre, 2018.

IAEA, 2018. <https://www.iaea.org/>.

IBGE,2019 <http://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa>. Acesso em 04/04/19.

Índice de Potencial Poluidor da Indústria no Rio Grande do Sul (2002-2015)
Disponível em www.fee.rs.gov.br. Acesso em 18/11/2019.

INMET,2019 <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 29/06/20.

LINDAU, F.G.L. **Estudo da qualidade do ar na região urbana de Porto Alegre: variabilidade das concentrações do parâmetro partículas inaláveis.** Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Engenharia. Departamento Engenharia Química. Porto Alegre, 2011.

LIVI, F. P. 2006. **Elementos do Clima: o contraste de tempos frios e quentes.** In: MENEGAT, R. et al. Atlas Ambiental de Porto Alegre. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 256 p.

LORA, E.E.S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** 2 Ed. RJ: Interciência, 2002, 862p

MARTINS, E.M.; MACHADO, M.C.S.; CORRÊA, S.M.; ARBILLA, G.; MOREIRA, A.; MOREIRA, L.F. **Impacto dos Fatores Meteorológicos na Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Porto Alegre.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11.2000, Rio de Janeiro-RJ. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro, 2000.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE (MMA). **Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários-2011** Disponível em <https://www.mma.gov.br/estruturas/>. Acesso em 15/12/2019.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE (MMA). **Segundo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários-2012** Disponível em <https://www.mma.gov.br/estruturas/>. Acesso em 15/12/2019.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE/IBAMA. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículo Automotores-PROCONVE- 1986** Disponível em <http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve> Acesso em 16/12/2018.

NIMER, E. 1977. Clima. In: **Geografia do Brasil - Região Sul.** Rio de Janeiro: IBGE/SERGRAF. v.5. p. 35-79.

NIMER, E. 1990. Clima. In: **Geografia do Brasil – Região Sul.** Rio de Janeiro: IBGE. Vol 2. p. 151-187.

Organização Mundial da Saúde – OMS. Disponível em www.oms.org. Acesso em 16/09/2018.

PETROBRAS Disponível em <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/entenda-o-diferencial-da-gasolina-petrobras>. Acesso em 25/06/19.

Plano Ar, Clima e Energia do Rio Grande do Sul-PACE Junho 2011. Disponível em www.fepam.rs.gov.br. Acesso em 07/12/19.

Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul- DETRAN- Ano base 2009. Disponível em www.detran.rs.gov.br. Acesso em 31/08/2018.

Programa de Complementação de Malha Viária Metropolitana-Agosto 2000. Disponível em www.metroplan.rs.gov.br. Acesso em 04/12/2019.

Resolução do CONAMA nº 03 de 28/06/1990. Disponível em www.mma.gov.br. Acesso em 14/09/2018.

Resolução do CONAMA nº 436 de 26/12/2011. Disponível em www.mma.gov.br. Acesso em 01/02/2020.

Resolução do CONAMA nº 491 de 19/11/2018. Disponível em www.mma.gov.br. Acesso em 03/02/2019.

ROJAS, C.S.A. **Condições meteorológicas e níveis de Poluição na região metropolitana de Lima – Perú.** 2013, 148 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo.

RYAN, W.F.; PIETY, C.A.; LUEBEHUSEN, E.D. **Air Quality Forecasts in the MidAtlantic Region: Current Practice and Benchmark Skill.** *Weather and Forecasting*, n. 15, 1999.

SAHA, S.; MOORTHY, S. HUA-LU, P. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bull. American Meteorological Society*, v. 91. 2010. p. 1015-1057. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>

SCUR, N.; KANNENBERG, V.; DAROIT, F. **Caminhoneiros bloqueiam rodovias do RS em dia de protestos nacionais.** *Gaúcha ZH*, 2018. Disponível em:

<<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2018/05/caminhoneiros-bloqueiam-rodovias-do-rs-em-dia-de-protestos-nacionais-cjhg1kzsd09x201qozv5bkut4.html>>. Acesso em 12/11/2020.

SEINFELD, J.H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 1232p.

STRAHLER, A.N. e STRAHLER, A. H. 1989. **Geografía Física**. Barcelona: Ed. Omega. 550 p.

STRAHLER, A.N. e STRAHLER, A. H. 2002. **Physical Geography** Science and Systems of the Human Environment. 2 ed. New York: John Wiley & Sons. 748 p.

TORRES, F.T.P.; MARTINS, L.A. 2005. **Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG)**. Revista on line Caminhos da Geografia. Instituto de Geografia UFU. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F. J. L. 1980. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1ª ed. São Paulo: Nobel. 374 p.

VIANA, D. R.; MATZENAUER, R. e AQUINO, F. E. 2006. **Desvios de Temperatura Média no Estado do Rio Grande do Sul em 2005**.

VIEIRA, E. F. 1984. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra.

VORMITTAG, E., DELGADO, J. **Relatório da poluição durante a greve dos caminhoneiros no Brasil**. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2018.