



**FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
HENRIQUE LUIZ ROESSLER/RS – FEPAM**

**DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL – DQA
DIVISÃO DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL – DIPLAN
DIVISÃO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL – DIMAM
SERVIÇO DE INTELIGÊNCIA GEOESPACIAL - SIGEO**

QUALIDADE AMBIENTAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR
REDE AUTOMÁTICA – AR DO SUL
ANO DE 2023**

**RELATÓRIO TÉCNICO
(Versão Corrigida)**

Porto Alegre/RS
Agosto de 2026





FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

Renato das Chagas e Silva

DIRETORIA TÉCNICA

Gabriel Simione Ritter

DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL

Glaucus Vinicius Biasetto Ribeiro

DIVISÃO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Márcio D'Avila Vargas

Equipe Técnica da Rede Ar do Sul

Eng. Quím. Felipe Norte Pereira

Met. Flávio Wiegand

Quím. Márcio D'Avila Vargas

Elaboração Técnica

Met. Flávio Wiegand

Quím. Márcio D'Avila Vargas

2026



SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	iv
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	viii
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	12
3 DESCRIÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	13
3.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS	13
3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	14
3.3 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	16
3.4 DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	17
3.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA DISPERSÃO DE POLUENTES EM 2023	19
4 REDE DE MONITORAMENTO	25
4.1 REDE ESTADUAL DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICA DA QUALIDADE DO AR	25
4.1.1 ESTAÇÃO GRAVATAÍ/JT	25
4.1.2 ESTAÇÃO RIO GRANDE/FURG	26
4.1.3 ESTAÇÃO CANOAS/PU	26
4.1.4 ESTAÇÃO TRIUNFO/POLO PETROQUÍMICO	26
4.1.5 ESTAÇÃO ESTEIO/PE	26
4.1.6 ESTAÇÃO GUAÍBA/PARQUE 35	26
4.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORADOS	27
4.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	27
4.2.2 ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NO _x)	27
4.2.3 PARTÍCULAS INALÁVEIS (PI ₁₀)	28
4.2.4 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO ₂)	28
4.2.5 OZÔNIO (O ₃)	28
4.3 METODOLOGIA DE MONITORAMENTO	29
4.4 DIVULGAÇÃO DA QUALIDADE DO AR	29
4.5 REPRESENTATIVIDADE DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR	29
4.6 PERCENTUAL DE DADOS VÁLIDOS EM 2023	31
5 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR	32
6 ESTIMATIVAS DE EMISSÃO DE FONTES MÓVEIS E FIXAS	33
6.1 FONTES FIXAS	33
6.2 FONTES MÓVEIS	34
7 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	38
8 POLUENTES E A QUALIDADE DO AR	40
8.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAR)	40
8.2 IQAR E SEUS EFEITOS NA SAÚDE	41
9 RESULTADOS	42





9.1	ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR EM 2023	42
9.2	DADOS DO MONITORAMENTO EM 2023	43
9.2.1	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL</i>	43
9.2.2	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: ÚLTIMOS CINCO ANOS</i>	44
9.2.3	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÁXIMA ANUAL</i>	46
9.2.4	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: MÉDIA ANUAL DAS MÁXIMAS CONCENTRAÇÕES</i>	47
10	CONCLUSÕES	48
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49





LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: micrograma por metro cúbico

°C: Grau Celsius

BID: Banco Interamericano de Desenvolvimento

CCEE: Coordenadoria do Controle do Equilíbrio Ecológico

CMPC: Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO: Monóxido de carbono

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CORSAN: Companhia Riograndense de Saneamento

COVs: Compostos orgânicos voláteis

DEE: Departamento de Economia e Estatística do RS

DETRAN-RS: Departamento estadual de trânsito do Rio Grande do Sul

DV: Direção do vento

E: Leste

EMQA: Estação de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar

FAPERGS: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

FFE: Fundação de economia e estatística

FURG: Universidade Federal do Rio Grande

GM: General Motors do Brasil

GOES: Geostationary Operational Environmental Satellite

h: Hora

HCs: Hidrocarbonetos

hPa: Hectopascal

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET: Instituto nacional de meteorologia

Inpp-I: Índice de potencial poluidor da indústria

IQAr: Índice de Qualidade do Ar

IOS: Índice de Oscilação Sul





JT: Jardim Timbaúva

km: Quilômetro

L: Local

Log: Logaritmo

m/s: Metro por segundo

m: Metro

mm: Milímetros

N: Norte

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NE: Nordeste

NW: Noroeste

NO: Óxido nítrico

N₂O: Óxido nitroso

NO₂: Dióxido de nitrogênio

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

NO_x: Óxidos de nitrogênio

O₃: Ozônio

OMS: Organização mundial da saúde

OPS: Organização PanAmericana de Saúde

P: Pressão

PCPV: Programa de Controle de Poluição Veicular

PF: Padrão final

PI: Partículas inaláveis

PI-1 (PI-2) (PI-3): Padrão intermediário 1 (2) (3)

PI_{2,5}: Partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico de corte de 2,5 micra

PI₁₀: Partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico de corte de 10 micra

PIB: Produto interno bruto

ppm: Partes por milhão

PROCONVE: Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PROMOT: Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares

PTS: Partículas totais em suspensão

PU: Parque universitário

RCHO: Aldeídos





REFAP: Refinaria Alberto Pasqualini S/A
RG: Radiação solar global
RMPA: Região Metropolitana de Porto Alegre
RS: Rio Grande do Sul
S: Sul
SE: Sudeste
SO₂: Dióxido de enxofre
SSMA: Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente
SW: Sudoeste
T: Temperatura
TRS: Compostos totais de enxofre reduzidos
UR: Umidade relativa do ar
UTC: Universal Time Coordinated
UTM: Universal Transversa de Mercator
UVA: Radiação ultravioleta-A
V COMAR: V Comando Aéreo Regional
VAB: Valor adicional bruto
VE: Vila Ezequiel
VV: Velocidade do vento
W: Oeste
W/m²: Watt por metro quadrado
WHO: World Health Organization



Fepam
LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios com mais de 100 mil habitantes.	14
Figura 2: Temperaturas médias mensais registradas em 2022 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020.	21
Figura 3: Temperaturas máximas absolutas mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	23
Figura 4: Temperaturas mínimas absolutas mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	23
Figura 5: Umidades relativas médias mensais registradas em 2022 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020.	24
Figura 6: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2022 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020.	24
Figura 7: Velocidades médias mensais do vento registradas em 2022 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	24
Figura 8: Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2022 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	24
Figura 9: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município.	36
Figura 10: As Macrorregiões do Estado do RS.	35
Figura 11: Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado.	36
Figura 12: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.	41
Figura 13: Gráfico do IQAr por Estação de Monitoramento.	43



Fepam
LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Os 10 maiores municípios conforme o PIB 2021.	15
Quadro 2: Classificação climática de Köppen para o Rio Grande do Sul.	16
Quadro 3: Parâmetros e localização das estações em 2023.	25
Quadro 4: Princípios de medição específicos para cada poluente.	29
Quadro 5: Critérios de representatividade de dados.	30
Quadro 6: Percentual de dados válidos por poluente por estação em 2023.	31
Quadro 7: Principais fontes dos poluentes atmosféricos.	32
Quadro 8: Frota veicular do RS por tipo em fev/2024.	34
Quadro 9: Frota veicular do RS frente ao tipo de combustível utilizado em fev/2024.	34
Quadro 10: Estimativa das emissões atmosféricas por fontes móveis no RS (2009).	36
Quadro 11: Padrões de qualidade do ar.	38
Quadro 12: Níveis de poluição do ar para episódios críticos.	39
Quadro 13: Relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde.	41
Quadro 14: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2023.	42
Quadro 15: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2023.	43
Quadro 16: Concentração média anual de O ₃ nos últimos 5 anos.	44
Quadro 17: Concentração média anual de CO nos últimos 5 anos.	44
Quadro 18: Concentração média anual de SO ₂ nos últimos 5 anos.	45
Quadro 19: Concentração média anual de NO ₂ nos últimos 5 anos.	45
Quadro 20: Concentração média anual de PI10 nos últimos 5 anos.	46
Quadro 21: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2023.	46
Quadro 22: Média anual das máximas concentrações dos poluentes em 2023.	47



1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é um componente essencial para a saúde humana e o meio ambiente. A poluição atmosférica, causada pela emissão de substâncias tóxicas e poluentes no ar, representa uma ameaça significativa para a qualidade de vida das populações em todo o mundo. Desde as emissões industriais até os gases veiculares e as queimadas, diversos fatores contribuem para a degradação da qualidade do ar.

De acordo com os dados mais recentes da OMS, a poluição do ar é um dos principais fatores de risco ambiental para a saúde global, contribuindo para milhões de mortes prematuras a cada ano. A exposição a poluentes atmosféricos está associada a uma série de doenças respiratórias e cardiovasculares, incluindo pneumonia, bronquite, asma, acidente vascular cerebral (AVC) e doenças cardíacas.

Os dados da OMS revelam disparidades significativas na qualidade do ar entre diferentes regiões e áreas urbanas, destacando a necessidade urgente de ações para reduzir as emissões de poluentes e proteger a saúde pública. Países em desenvolvimento, em particular, enfrentam desafios significativos devido à poluição do ar causada por fontes industriais, veículos a motor e práticas agrícolas inadequadas.

Além disso, a OMS estabeleceu diretrizes e padrões de qualidade do ar para orientar os esforços de monitoramento e controle da poluição atmosférica em níveis nacionais e internacionais. Essas diretrizes visam proteger a saúde humana e promover um ambiente sustentável, definindo limites aceitáveis para a concentração de poluentes no ar.

E neste cenário, o monitoramento da qualidade do ar desempenha um papel crucial na identificação e mitigação dos impactos da poluição atmosférica. Por meio de uma rede de estações de monitoramento é possível acompanhar os níveis de diversos poluentes presentes no ar, especialmente de dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de carbono (CO), material particulado (PI_{2,5} e PI₁₀) e ozônio (O₃).

Os dados coletados por esses sistemas de monitoramento fornecem informações valiosas para governos, organizações ambientais e a população em geral. Eles ajudam a entender a extensão da poluição atmosférica, identificar fontes de emissão, avaliar os riscos para a saúde pública e implementar medidas de controle e prevenção adequadas.



Além disso, o monitoramento da qualidade do ar é essencial para o cumprimento de regulamentações ambientais e padrões de qualidade estabelecidos. A análise regular dos dados de monitoramento permite avaliar o progresso na redução da poluição atmosférica e orientar políticas públicas voltadas para a proteção do meio ambiente e da saúde da população.

No Brasil, diversos instrumentos legais estabelecem diretrizes, padrões e medidas de controle da poluição atmosférica. A Lei Federal nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, estabelece sanções penais e administrativas para condutas lesivas ao meio ambiente, incluindo a poluição do ar. No âmbito regulatório, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) desempenha um papel central na definição de normas e padrões de qualidade do ar. As Resoluções CONAMA 008/90, 316/02, 382/06 e 436/11 norteiam os limites das emissões de várias atividades antrópicas, em especial aquelas que envolvem fornos de combustão de fontes fixas. Para fontes móveis, se destacam os programas PROCONVE, instituído pela Resolução CONAMA 018/86, e o PROMOT, instituído pela Resolução CONAMA 297/12, que estabeleceram prazos para adoção de limites mais restritivos de emissão de poluentes e melhora tecnológica para a frota veicular do país.

Em termos de qualidade do ar, as Resoluções CONAMA 005/89 e 491/18 são atualmente a base legal em nível nacional para a definição dos padrões de qualidade a serem adotados, bem como para as metodologias de medição e demais ações de monitoramento pelos órgãos de controle. O Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) instituído pela Resolução CONSEMA 005/89 tem com o objetivo de promover a melhoria da qualidade do ar no país. O PRONAR estabelece diretrizes para o monitoramento da poluição atmosférica, a avaliação dos impactos à saúde pública e a implementação de medidas de controle da emissão de poluentes, em coordenação com órgãos ambientais estaduais e municipais. No Estado do Rio Grande do Sul, a qualidade do ar é abordada no novo código ambiental do Estado, Lei Estadual Nº 15434 de 09/01/2020, em seu capítulo III - da utilização e conservação do ar, Art. 139 a 142.

No contexto urbano, muitos municípios brasileiros também têm legislações específicas para o controle da poluição do ar, incluindo normas para o controle de emissões veiculares, a fiscalização de fontes poluidoras e a promoção de práticas sustentáveis de mobilidade e transporte público.





Embora existam avanços na legislação brasileira sobre qualidade do ar, ainda há desafios a serem enfrentados, como a fiscalização efetiva das fontes de poluição, a redução das emissões de poluentes por veículos e indústrias e o incentivo a tecnologias limpas e renováveis. O cumprimento e aprimoramento das leis ambientais são essenciais para garantir um ambiente saudável e sustentável para as presentes e futuras gerações no Brasil.

Neste contexto, este relatório apresenta à sociedade os dados do monitoramento automático da qualidade do ar realizado pela FEPAM no Estado do Rio Grande do Sul durante o ano de 2023, para as estações de qualidade do ar em operação integrantes da rede Ar do Sul.





2 OBJETIVO

O propósito deste relatório é apresentar à sociedade os resultados do monitoramento automático da qualidade do ar conduzido pela FEPAM em 2023. O documento aborda o sistema de monitoramento empregado, sua amplitude de cobertura, as principais fontes de poluição, bem como o impacto da meteorologia local na dispersão dos poluentes.



3 DESCRIÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

3.1 Aspectos Geográficos

O Estado do Rio Grande do Sul localiza-se no extremo meridional do Brasil, delimitando-se com o Estado de Santa Catarina a N-NE, República Argentina a W-NW, República do Uruguai a S-SW e seu extremo oriental é banhado pelo Oceano Atlântico. Seus limites geográficos se estendem entre as longitudes 57°36'14"W - 49°42'00"W e as latitudes 33°45'37"S - 27°05'20"S. O Rio Grande do Sul apresenta uma área de 281.748,5 km², que representa 3,3% do território brasileiro [Atlas Eólico: Rio Grande do Sul, 2002].

Na região norte do Estado situa-se o Planalto Meridional, formado por rochas basálticas decorrentes de um grande derrame de lavas ocorrido na era Mesozoica. Sua extremidade a oeste expressa o resultado do trabalho da erosão diferencial, sendo denominada de *Cuesta do Haedo*. A nordeste encontram-se as maiores altitudes do Planalto, chegando a alcançar 1.398 m no Monte Negro em São José dos Ausentes. Suas bordas correspondem à chamada Serra Geral. Ao centro do Estado está a Depressão Central que é formada de rochas sedimentares, dando origem a um extenso corredor que liga o oeste ao leste, através de terrenos de baixa altitude. Ao sul localiza-se o Escudo Sul-rio-grandense, com rochas ígneas do período Pré-Cambriano e, por isto mesmo, muito desgastadas pela erosão, com altitude não ultrapassando os 600 m. A Planície Costeira teve sua formação do período Quaternário da era Cenozoica, a mais recente da formação da terra. Corresponde a uma faixa arenosa de 622 km com grande ocorrência de lagoas e lagoas, entre as quais se destacam a Laguna dos Patos e Lagoa Mirim. O processo de formação desta região tem caráter evolutivo, estando em constante mutação, como decorrência da sedimentação marinha e flúvio-lacustre.

A vegetação é diversificada com importantes áreas remanescentes da Mata Atlântica e a existência de campos que caracterizam a Campanha Gaúcha e as terras altas do Planalto Meridional. A hidrografia do Rio Grande do Sul é dividida em três regiões: Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, cujas águas drenam para o rio Uruguai, Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, cujas águas drenam para o rio Guaíba e Região Hidrográfica das Bacias do Litoral, cujas águas drenam ou para a Laguna dos Patos e Lagoa Mirim ou direto para o Oceano Atlântico. Os principais rios do Estado são Uruguai, Ijuí, Jacuí, Guaíba, Caí, Taquari, Ibicuí, Pelotas, Camaquã e Sinos.



De acordo com últimos dados do IBGE, censo de 2022, o Rio Grande do Sul conta com uma população de 10.882.965 habitantes [IBGE, 2024], sendo que cerca de 85% desta população vive em áreas urbanas [SPGG, 2022]. Porto Alegre concentra grande parte da população total do Estado com 1.332.845 habitantes. Além de Porto Alegre outros municípios apresentam mais de 100 mil habitantes, sendo eles: Caxias do Sul, Canoas, Pelotas, Santa Maria, Gravataí, Viamão, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Alvorada, Rio Grande, Passo Fundo, Sapucaia do Sul, Uruguaiana, Cachoeirinha, Santa Cruz do Sul, Bagé, Erechim e Bento Gonçalves, cuja localização pode ser vista no mapa da Figura 1.

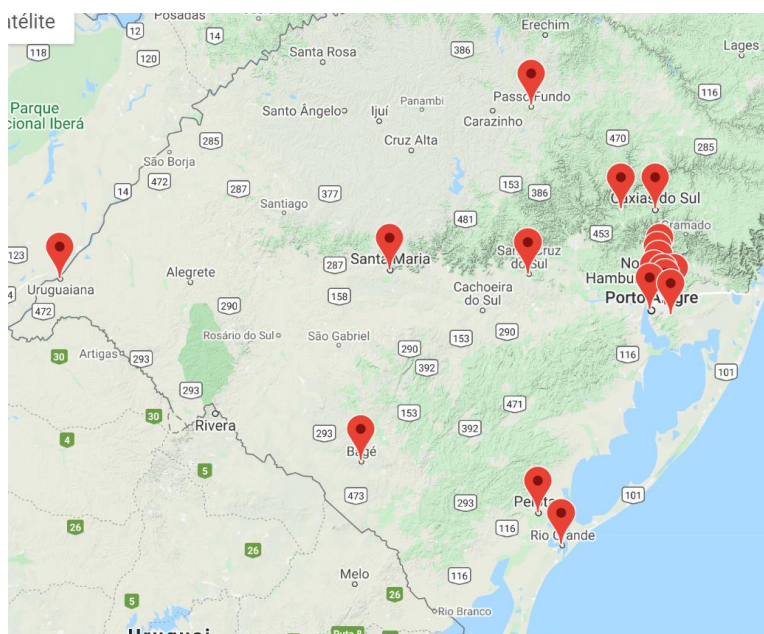


Figura 1: Municípios com mais de 100 mil habitantes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Uso e Ocupação do Solo

Em valores nominais, o PIB do RS em 2023 foi de R\$ 640,299 bilhões (DDE, 2023). No Quadro 1 vemos os 10 maiores municípios do Estado, segundo a magnitude do PIB (dados de 2021), os quais somados representaram cerca de 37,2% do PIB estadual.

Os 10 maiores PIBs municipais são, em geral, baseados na indústria e em serviços, tendo a agropecuária uma pequena participação. O setor serviços destaca-se como a responsável pela maior parte do valor gerado nestes municípios. O número de habitantes também é destaque pois, com exceção de Triunfo, todos apresentam população superior a 100 mil habitantes.



Quadro 1: Os 10 maiores municípios conforme o PIB 2021.

Município	PIB (R\$ mil)
Porto Alegre	81.562.848
Caxias do Sul	31.688.460
Canoas	21.995.362
Rio Grande	13.282.154
Triunfo	12.982.386
Passo Fundo	12.552.833
São Leopoldo	10.855.366
Pelotas	10.778.119
Gravataí	10.261.618
Novo Hamburgo	10.037.889

Fonte: DEE, 2021.

O valor adicional bruto (VAB) do Rio Grande do Sul em 2021 [SPGG, 2022] dividido em Agropecuária, Indústria e Serviços apresenta a seguinte participação:

A indústria, responsável por 24,1% do VAB estadual, é bem diversificada e se desenvolveu a partir das agroindústrias e de outros segmentos ligados ao setor primário. Destacam-se as indústrias de transformação, alimentos, petroquímicas, máquinas, automobilísticas, implementos agrícolas, fertilizantes e de calçados. De forma geral, as indústrias de produtos alimentícios, química, metalurgia, vestuário, papel, têxtil, borracha, automotivo e petróleo ficam localizadas nos municípios da RMPA. Na região da Serra Gaúcha, principalmente em Caxias do Sul, ficam indústrias ligadas ao metal-mecânico e na região de Pelotas e Rio Grande, o setor portuário e indústrias de fertilizantes. Destaca-se, ainda, o Polo Petroquímico em Triunfo, as indústrias do setor coureiro-calçadista do Vale dos Sinos, a termoeletrica em Candiota e a indústria fumageira em Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires.

A agropecuária, que represente 14,9 % do VAB gaúcho, deriva vários segmentos da indústria e dos serviços. O Rio Grande do Sul possui um dos maiores rebanhos bovinos do país, localizado na parte oeste e sul do Estado, cujo sistema ainda é de produção extensiva, tendo o campo nativo como base da alimentação dos animais. O Estado ainda é um dos maiores produtores de grãos, com destaque para a soja, arroz, milho e trigo.

O setor de serviços é aquele que gera a maior participação no VAB (60,9%), estando ligado às regiões com elevada densidade populacional.



3.3 Condições Meteorológicas

O Rio Grande do Sul tem seu território totalmente incluído na Zona Subtropical do Sul, que é limitada pelos paralelos 25°00'S e 35°00'S [Strahler, 1977].

Segundo a classificação climática de Köppen, o Estado é caracterizado pelo tipo climático Cf (subtropical úmido), apresentando os subtipos Cfa e Cfb, de acordo com as variações térmicas (Quadro 2), devido a diferenças topográficas [Danni, 1987]. O subtipo Cfa abrange maior extensão territorial, ocupando áreas com altitudes inferiores a 500 m.

Quadro 2: Classificação climática de Köppen para o Rio Grande do Sul.

Classificação Climática do Rio Grande do Sul	
c	Clima mesotérmico (subtropical e temperado), temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e superior a -3°C, ao menos um mês com média superior a 10°C.
f	Sempre úmido (mês menos chuvoso com precipitação superior a 60 mm).
a	Verões quentes (mês mais quente com média igual ou superior a 22°C).
b	Verões brandos (mês mais quente com média inferior a 22°C).

Fonte: Adaptado de Danni, 1987.

Geralmente, mais de 70 frentes frias por ano atingem o Rio Grande do Sul [CPTEC/INPE, 2020], variando de quatro a sete frentes por mês. A maior incidência encontra-se entre os meses de julho e novembro.

Dentre os sistemas sinóticos considerados, podemos citar os sistemas de bloqueio, que provocam uma paralisação no deslocamento dos sistemas sinóticos, proporcionando períodos de seca ou estiagem em algumas regiões, e inundações em outras. Portanto, os efeitos causados por estes sistemas dependem da sua posição relativa a estes bloqueios. Os 'veranicos' são causados por este tipo de sistema, com um máximo de ocorrência durante o outono [Krusche *et al.*, 2002].

Os anos de ocorrência do fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS) tendem a ser mais chuvosos no Rio Grande do Sul, principalmente na primavera [Rao e Hada, 1990]. Já as geadas ocorrem mais durante os anos de predominância do fenômeno La Niña [Silveira *et al.*, 1999].

A ocorrência de ciclones extratropicais que se formam ou migram pelo litoral sul do Brasil e Uruguai afeta o campo do vento na região, sendo que a maior frequência e os fenômenos mais intensos ocorrem no inverno.



Durante o inverno as massas de ar polar encontram maior facilidade para migrarem sobre esta região, causando quedas de temperatura, geadas e até neve nos pontos mais elevados do Estado. Isto faz com que o campo da pressão apresente um acréscimo nestes meses, enquanto que as temperaturas caem. Durante o verão as massas de ar tropicais influenciam mais, o que faz com que as temperaturas aumentem e o campo da pressão seja menor. Nas meias-estações encontramos uma mescla, em que ora uma, ora outra massa de ar predomina.

A precipitação é relativamente bem distribuída o ano todo, apresentando os maiores valores entre junho e outubro. Esta característica se deve à maior influência da entrada de frentes frias durante o inverno e princípio da primavera, o que indica que a maior parte das precipitações no inverno estão associadas a sistemas frontais. Durante o verão, devido à maior influência das massas de ar tropicais, as precipitações estão mais associadas a fenômenos convectivos, devido ao aquecimento da superfície e também da umidade disponível nessas massas de ar. No outono ocorrem as menores precipitações, sinalizando a menor presença da massa de ar tropical e ainda à pouca atividade das frentes frias que conseguem chegar ao Estado.

A umidade relativa média mensal varia pouco durante o ano, apresentando valores maiores durante os meses de inverno, em torno de 83%, e valores menores durante o verão, em torno de 68%. Tendo em vista que a umidade relativa depende da temperatura, ela tem um comportamento bastante coerente com o da temperatura média.

As temperaturas média, máxima e mínima possuem comportamento similar, os valores mais baixos são encontrados nos meses de junho e julho, e os maiores valores nos meses de janeiro e fevereiro. As variáveis de temperatura definem mais claramente a maior influência das massas de ar polares durante o inverno e tropicais durante o verão. Fica também bastante demarcada a regularidade destes fenômenos, haja vista a pouca variabilidade encontrada.

3.4 Dispersão Atmosférica

A dispersão atmosférica refere-se à propagação e distribuição de substâncias ou partículas no ar. Os processos de dispersão atmosférica são complexos e podem ser influenciados por uma série de variáveis, incluindo condições meteorológicas (vento, temperatura, umidade e estabilidade atmosférica), características do terreno e propriedades



das substâncias dispersas. Modelos matemáticos e simulações computacionais são frequentemente utilizados para prever a dispersão de poluentes e substâncias nocivas, auxiliando na tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental e à segurança pública.

Além disso, a dispersão atmosférica também desempenha um papel importante em eventos naturais, como a dispersão de cinzas vulcânicas após uma erupção ou a dispersão de poluentes decorrentes de incêndios florestais. Compreender os padrões de dispersão atmosférica nessas situações pode ajudar na avaliação de riscos e na proteção de comunidades vulneráveis.

A dispersão de poluentes é uma característica para cada região sendo, portanto, determinada pelas condições geográficas (localização, relevo, continentalidade, uso do solo, etc.) e pela climatologia. Estas características conferem uma espécie de ‘assinatura’ de dispersão para cada local, e a análise da qualidade do ar deve levar em consideração estes fatores.

No Estado do Rio Grande do Sul, as regiões mais expostas às altas concentrações de poluentes são a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), região de Rio Grande e região de Caxias do Sul, pela industrialização e pela quantidade de veículos automotores. Em segundo plano encontram-se as regiões ligadas aos municípios populosos do interior do Estado (Santa Maria, Passo Fundo, etc.), devido principalmente à quantidade de veículos, e aos municípios com grandes empreendimentos potencialmente emissores de poluentes (Candiota, Triunfo, Santa Cruz do Sul, etc.).

Em geral, os sistemas de bloqueio atmosférico que impedem a propagação dos sistemas sinóticos podem acarretar períodos de baixa dispersão de poluentes, principalmente no inverno, pois os sistemas frontais são impedidos de chegar até as latitudes inferiores a 30-35°. Normalmente, nestes eventos, um centro de alta pressão coloca-se sobre ou próximo ao Rio Grande do Sul, impedindo a formação de nuvens e precipitação, com ocorrência de ventos fracos e inversão térmica próxima à superfície. Todos estes fatores agrupados contribuem, dia após dia, para que a concentração de poluentes atmosféricos vá aumentando em um processo acumulativo, podendo chegar a valores críticos.

A RMPA situa-se a aproximadamente 90 km do Oceano Atlântico, a norte da Laguna dos Patos, ao sul da Serra do Mar e inserida em uma região chamada Depressão Central, mesclando as baixas altitudes com os morros situados nos setores sul e sudeste do município de Porto Alegre. Estes fatores induzem circulações atmosféricas de mesoescala e locais (brisa



marítima/terrestre, lacustre/terrestre, vale/montanha, ‘ilha de calor urbana’, etc.). A circulação resultante faz com que o vento predominante seja de sudeste, secundada pelo vento de noroeste. Pode-se dizer que a RMPA possui boa dispersão de poluentes atmosféricos devido às circulações envolvidas.

A região de Caxias do Sul possui características bastante distintas, pois é uma região com relevo íngreme, associada a várias linhas de montanhas e vales, que induzem brisas de vale/montanha em microescala, podendo estas circulações facilitar ou dificultar a dispersão de poluentes. Por ser uma região de terreno complexo e com poucas estações meteorológicas, é necessário um estudo mais aprofundado, a fim de caracterizar os aspectos de dispersão de poluentes nesta região.

3.5 Condições Climáticas para Dispersão de Poluentes em 2023

Seguindo os relatórios anteriores da Qualidade do Ar do RS elaborados pela FEPAM, as análises meteorológica e climática são baseadas nas observações registradas pela estação meteorológica A-801, do INMET, localizada em Porto Alegre. As variáveis Temperatura do Ar, Umidade do Ar e Precipitação Acumulada são comparadas às normais climatológicas desta estação de 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020. A Pressão Atmosférica e a Velocidade Média do Vento são comparadas somente com as duas últimas normais, devido a não disponibilização dos demais dados. Por fim, a Radiação Solar Global é comparada com a média de registros do período 2002-2022 realizados na própria estação. Esta opção se faz necessária devido ao INMET fornecer (Normais climatológicas) somente a variável Insolação, que se refere ao número de horas de sol por dia [INMET, 2020]. Neste relatório serão também incluídas as análises do comportamento das variáveis Temperatura Máxima Absoluta e Temperatura Mínima Absoluta (mensais), com o intuito de enriquecer a análise do comportamento da atmosfera.

Na Figura 2 é possível observar que a curva do ano de 2023 evidencia que a temperatura média mensal apresentou anomalias positivas acima de 1,5 °C nos meses de março e de maio a setembro, nos demais esteve próximo às normais meteorológicas.

Na Figura 3 é possível observar o comportamento das Temperaturas Máximas Absolutas Mensais de 2023, observando-se que, excetuando-se os meses de fevereiro e setembro (quando acompanhou as normais climatológicas), elas foram inferiores em às



normais, indicando tendência de atenuação dos processos convectivos na atmosfera, pelo menos nos dias mais quentes.

Por outro lado a Figura 4 ilustra o comportamento da variável Temperatura Mínima Absoluta Mensal de 2023, onde se observa que ocorreram anomalias positivas em quase a todo o ano, com valores acima das normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020), excetuando-se o mês de fevereiro, quando acompanhou estas normais. Este comportamento pode indicar que nas primeiras horas do dia, principalmente nos meses mais frios, os fatores que levam a formação de estabilidade nas camadas mais inferiores da atmosfera (devido ao resfriamento) foram atenuados, podendo ser esperada maior atividade convectiva nesses horários.

As médias mensais da umidade relativa do ar apresentou grande oscilação a maior parte do ano, especialmente no segundo semestre de 2023. A Figura 5 ilustra o comportamento da umidade relativa do ar, onde pode ser observada a tendência de acompanhar as normais climatológicas no primeiro semestre (embora com meses mais secos) e grande oscilação a partir de julho, com tendência significativa de anomalias positivas na primavera.

A precipitação apresentou umas de suas principais características, a alta variabilidade. Em 2023 isso fica muito evidente no segundo semestre, quando também é observada grande anomalia positiva em relação às normais climatológicas (Figura 6). Destaque para os meses de junho, setembro e novembro, quando ocorreram 247,6 mm, 394,8 mm e 342,8 mm, respectivamente. O mês de abril apresentou uma anomalia negativa importante, pois acumulação de precipitação não chegou a atingir 40 mm. Baixos acumulados de precipitação costumam estar acompanhados de maiores concentrações de poluentes atmosféricos, e vice-versa.

Na Figura 7 verifica-se que a velocidade média mensal do vento em superfície (10 m) no ano de 2023 manteve anomalias negativas durante o ano inteiro, principalmente nas estações mais quentes (primavera e verão).

A Figura 8 ilustra que as pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2023 apresentaram anomalias negativas em relação às normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) durante o ano inteiro. Isso pode indicar que os sistemas de alta pressão tiveram menor influência nas condições climáticas da região. Geralmente a atuação desses sistemas está associada ao aumento de concentrações de poluentes atmosféricos, principalmente material



particulado e ozônio troposférico. Nos meses de junho a novembro houve grande ocorrência núcleos de baixas pressões (ciclogêneses), sobre e no entorno do Estado do Rio Grande do Sul, sendo corroborado com a anomalia positiva da precipitação. Nesse caso, pode-se inferir que a atmosfera teve uma tendência mais favorável a dispersão de poluentes atmosféricos.

Os dados de radiação solar global de 2023 foram comparados à média do período 2002-2022, em W/m^2 , haja vista que no Atlas de Normais Climatológicas existe apenas a variável ‘Insolação’, que corresponde ao número de horas com incidência de radiação solar na superfície. Considerando isso, a radiação solar no ano de 2023 esteve muito próxima da curva de médias mensais do período 2002-2022, com exceção dos meses de janeiro e agosto que tiveram incidência maior de radiação solar, enquanto que nos meses de setembro a dezembro apresentou incidência menor que a média desse período, provavelmente por maior cobertura de nuvens e ocorrência de chuvas.

De uma maneira geral, apontam-se os meses de janeiro a maio e agosto como os meses com condições para a baixa dispersão de poluentes atmosféricos, devido à baixa umidade, menor nebulosidade e precipitação, ventos fracos e maior incidência de radiação solar.

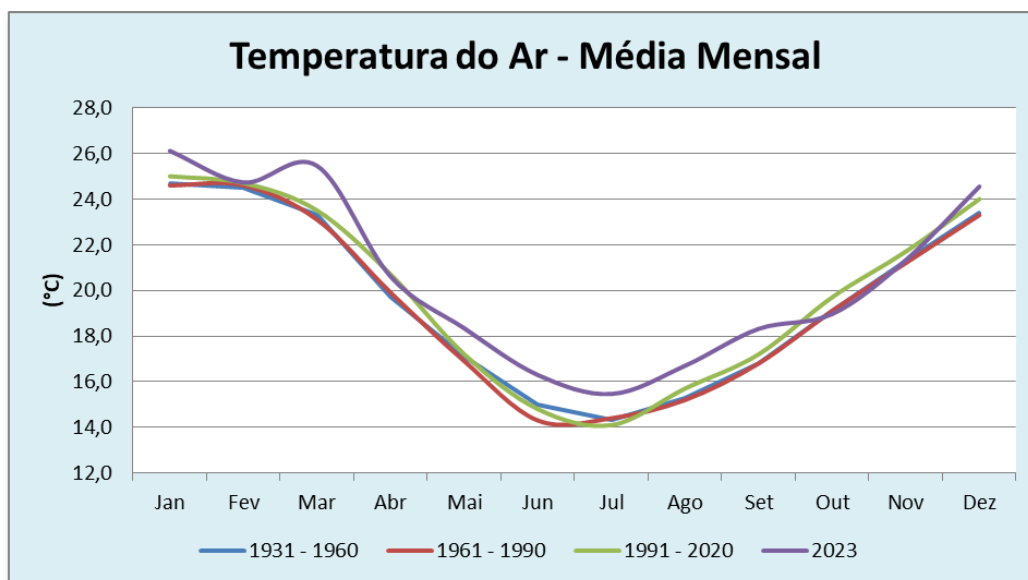


Figura 2: Temperaturas médias mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.



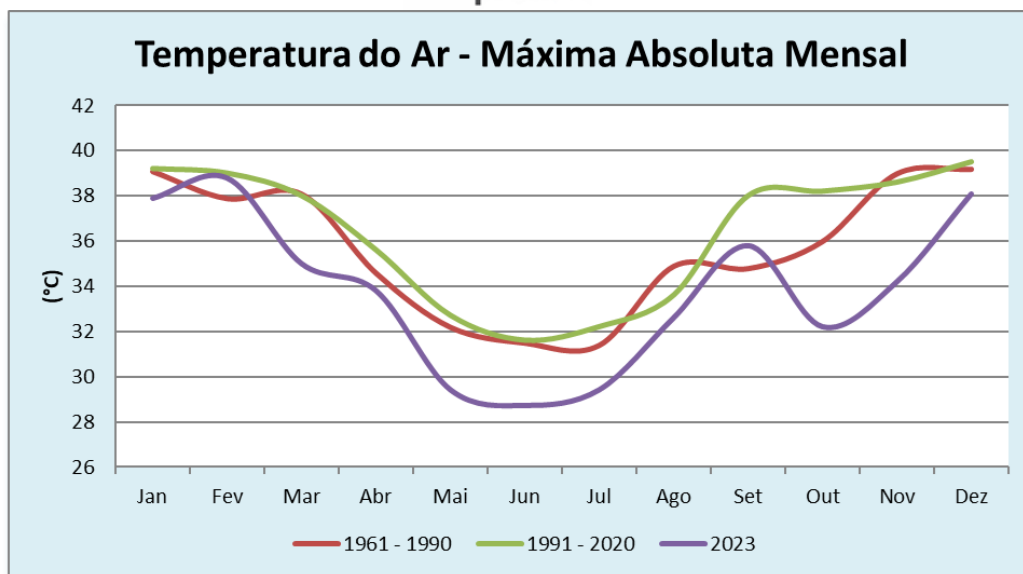


Figura 3: Temperaturas máximas absolutas mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.

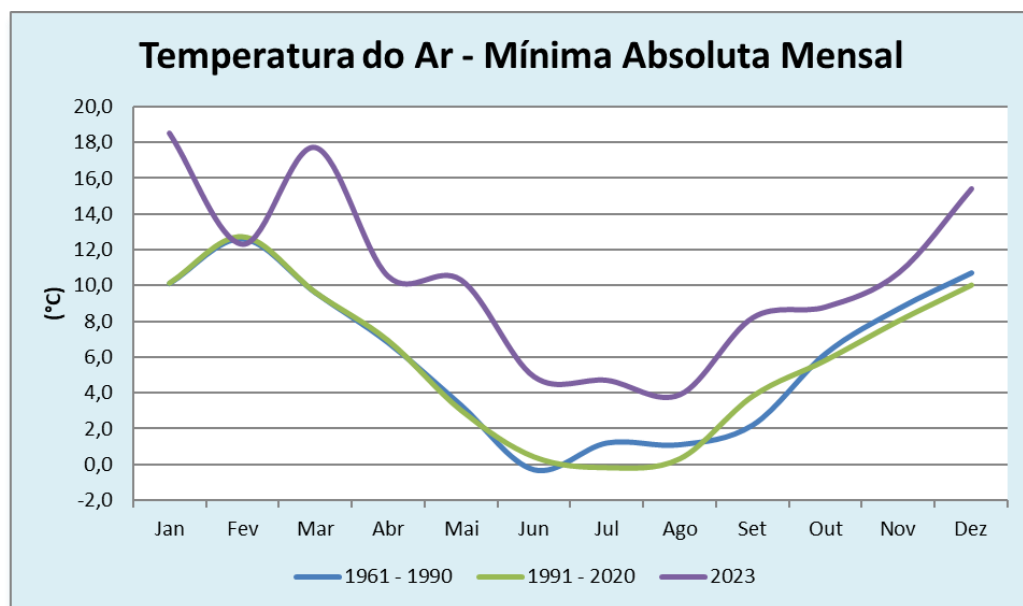


Figura 4: Temperaturas mínimas absolutas mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.



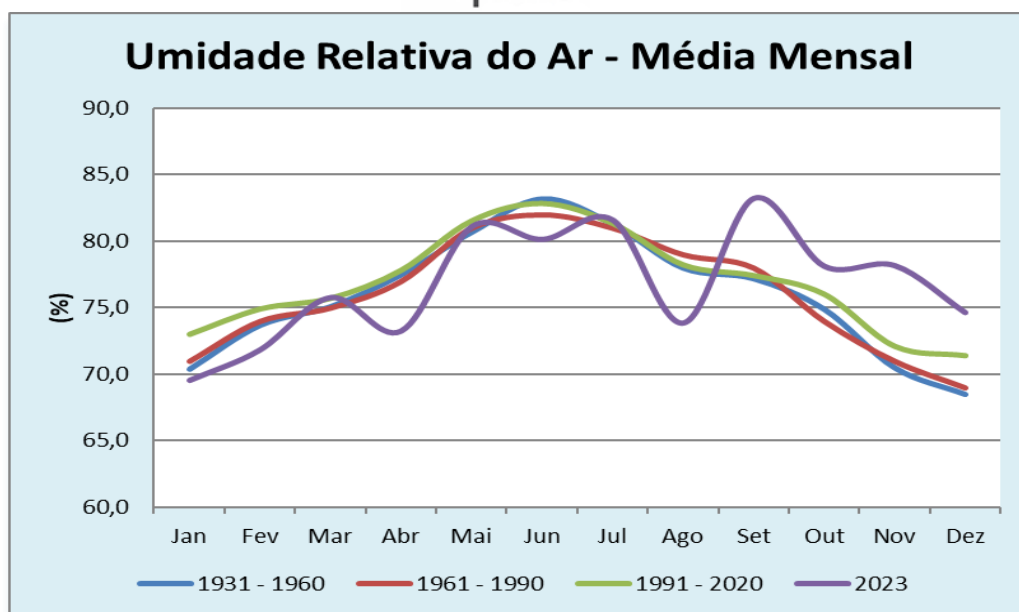


Figura 5: Umidades relativas médias mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.

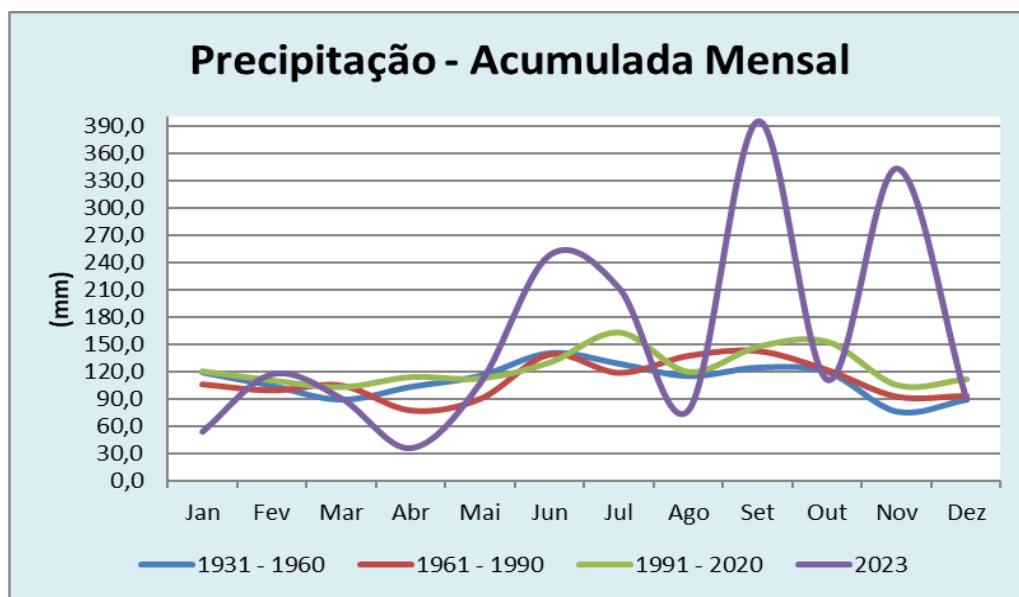


Figura 6: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.



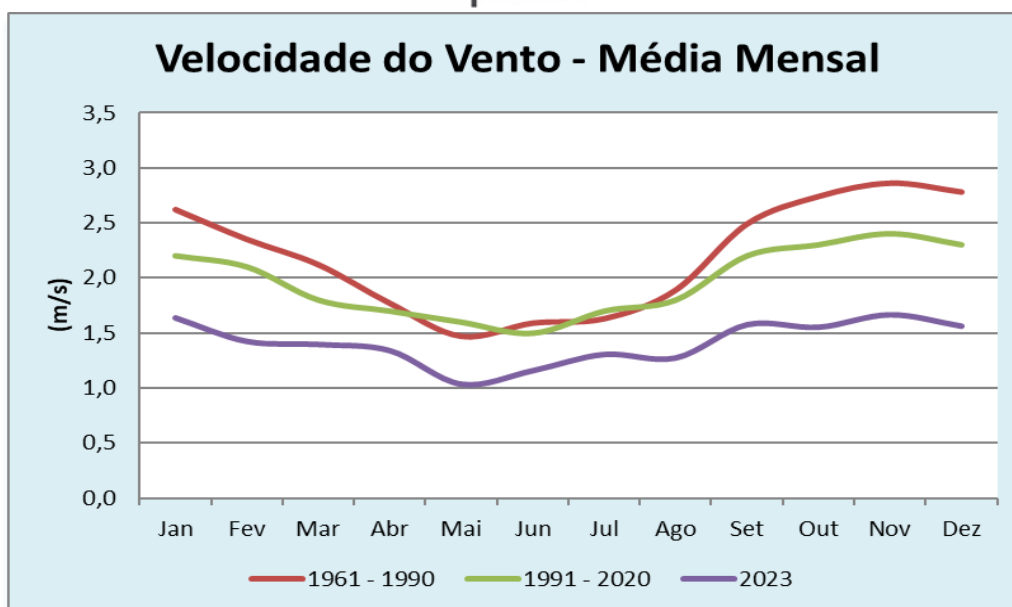


Figura 7: Velocidades médias mensais do vento registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.

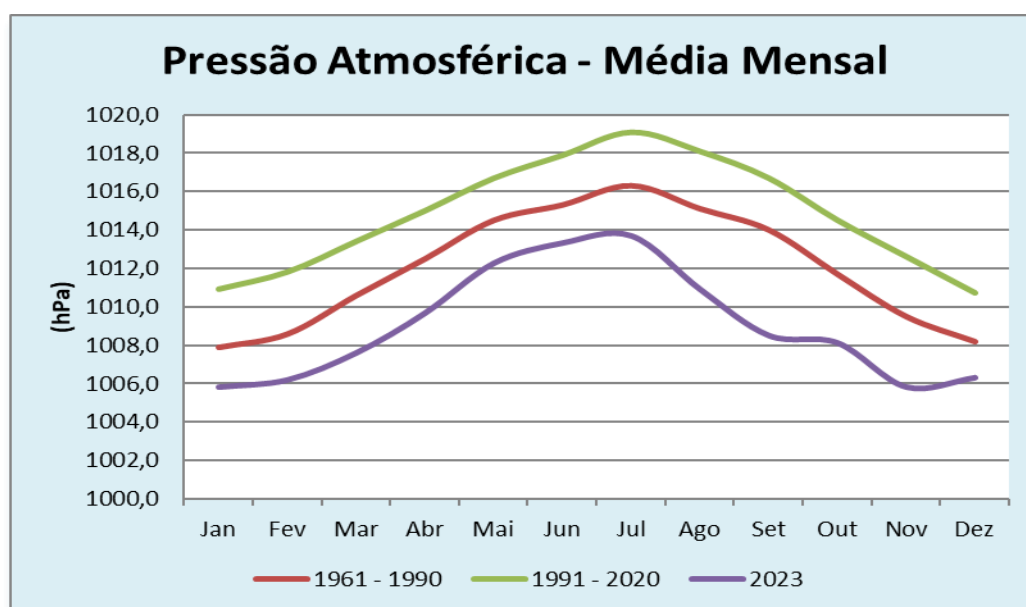


Figura 8: Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2023 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.



4 REDE DE MONITORAMENTO

4.1 Rede Estadual de Monitoramento Automática da Qualidade do Ar

A rede Estadual de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar - rede Ar do Sul da FEPAM contou com seis estações de monitoramento em operação no ano de 2023. O Quadro 3 mostra os municípios e a localização destas estações e os parâmetros existentes.

Quadro 3: Parâmetros e localização das estações em 2023.

Município	Estação	Parâmetros Monitorados	
		Poluentes	Meteorológicos
Canoas	Parque Universitário ¹	PI10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Rio Grande	FURG ⁵	PI10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , PI2,5, PTS	P, T, UR, RG, DV e VV
Triunfo	Polo Petroquímico ²	PI10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , PI2,5	---
Esteio	Parque de Exposição ¹	PI10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs, TRS	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Gravataí	Jardim Timbaúva ³	PI10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Guaíba	Parque 35 ⁴	PI10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , PTS, TRS	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV

1- Estações pertencentes e mantidas pela Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP);

2- Estação pertencente e mantida pela Braskem;

3- Estação mantida pela General Motors do Brasil (GM), doada à FEPAM;

4- Estação pertencente e mantida pela Celulose Riograndense (CMPC);

5- Estação pertencente e mantida pela Superintendência do Porto de Rio Grande e Prefeitura Municipal.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os pontos de monitoramento onde estão localizadas as estações da rede automática podem ser agrupados segundo a influência do tipo de fonte predominante: veicular, urbana ou industrial. Isto não significa que a influência é exclusiva de uma ou de outra origem, mas o objetivo é apenas destacar a contribuição da poluição predominante.

Desta maneira, são apresentados a seguir os locais onde estão instaladas as estações de monitoramento e as características de seu entorno.

4.1.1 Estação Gravataí/Jardim Timbaúva (JT)

Estação localizada junto ao bairro residencial Jardim Timbaúva, na periferia da cidade, com pouco trânsito de veículos no seu entorno. Está a aproximadamente 7 km em



relação à General Motors do Brasil (GM), além de outras empresas em distâncias menores. Apresenta influência industrial e urbana.

4.1.2 Estação Rio Grande/FURG

Estação instalada nesta cidade em 2022 pela Superintendência do Porto de Rio Grande e Prefeitura Municipal. Inicialmente ficou na zona portuária até o dia 27 de agosto, tendo praticamente apenas influência industrial. Posteriormente, ainda em 2022, foi realocada para a FURG onde passou também a ter influência urbana.

4.1.3 Estação Canoas/Parque Universitário (PU)

Estação pertencente à REFAP, localizada a 2 km em relação a esta. Em seu entorno existe ainda a ocupação urbana para moradia, além de outras pequenas indústrias. Sofre influência industrial e em segundo plano, urbana.

4.1.4 Estação Triunfo/Polo Petroquímico

Estação pertencente à Braskem, localizada em área próxima ao Polo Petroquímico do Sul, com forte influência industrial das empresas petroquímicas do Polo.

4.1.5 Estação Esteio/Parque de Exposição (PE)

Estação pertencente à REFAP, com forte influência da refinaria como também de outras indústrias próximas, como envazadoras de combustíveis, indústrias químicas, de alimentos e mecânicas. Em seu entorno existe influência de via de intenso tráfego (rodovia BR-116) de caminhões, ônibus e automóveis, e a ocupação urbana para moradia. Sofre influência industrial e veicular, e em menor grau, urbana.

4.1.6 Estação Guaíba/Parque 35

Estação pertencente à Celulose Riograndense (CMPC), instalada a aproximadamente 2,5 km em relação a esta indústria, em área com baixa densidade populacional que representa o limite da área urbana com a área rural. Apresenta forte influência industrial, mas também sofre moderada influência urbana, devido à proximidade com o centro de Guaíba (1,5 km a leste) e da pluma urbana representada pela zona sul de Porto Alegre (na outra margem do Lago Guaíba).



4.2 Poluentes Atmosféricos Monitorados

A rede de monitoramento automática da FEPAM contempla a medição dos principais poluentes constantes na Resolução do CONAMA 491/2018: partículas inaláveis (PI10), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃). A fumaça, chumbo, partículas inaláveis finas (PI2,5) e partículas totais em suspensão também são poluentes com padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 491, mas não são parâmetros utilizados pela rede automática da FEPAM para elaboração do IQAr. A rede FEPAM também mede em algumas estações os poluentes hidrocarbonetos totais (HCs) e compostos reduzidos de enxofre (TRS), mas não há padrão de qualidade estabelecido para ambos, sendo somente feito o acompanhamento do comportamento desses ao longo do tempo, servindo de ferramenta de monitoramento industrial e de avaliação.

4.2.1 Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás incolor, insípido e inodoro presente na atmosfera, sendo resultado da combustão incompleta de combustíveis fósseis e de biomassa e, também da oxidação atmosférica de compostos orgânicos voláteis [SIGNORI, 2022]. Se prolongada, a inalação desse gás é capaz de provocar de leves a fortes dores de cabeça, tonturas e náuseas [COUTINHO, 2022]. Além disso, o CO é altamente tóxico e perigoso, pois tem muita afinidade com a hemoglobina presente nos glóbulos vermelhos do sangue, causando asfixia e podendo, em minutos, levar a morte [OLIVEIRA, 2021].

4.2.2 Óxidos de nitrogênio (NO_x)

Os principais óxidos de nitrogênio se tratam de dióxido de nitrogênio (NO₂) e óxido nítrico (NO). O NO₂ é um gás tóxico, altamente oxidante, podendo ser emitido, principalmente, a partir da queima de combustíveis fósseis em motores veiculares ou em indústrias [SOUZA, 2022; CHEN, 2023]. Além das fontes antropogênicas, este gás pode ser produzido na própria atmosfera, através da reação do oxigênio com o NO, outro poluente atmosférico [VALADÃO, 2022]. Contudo, o NO não é consideravelmente tóxico, é apenas um gás muito instável, por isso reage facilmente com o oxigênio [AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2023]. A inalação de NO₂ pode provocar graves problemas respiratórios, como pneumonia e bronquite [HE, 2023].



4.2.3 Partículas inaláveis (PI10)

Partículas inaláveis são partículas de diferentes tamanhos e formas que surgem a partir da emissão de outros poluentes, como sulfatos e nitratos e ficam suspensas no ar na forma de poeira, fumaça ou outras [UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; 2020; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2023]. As PI10 apresentam diâmetros iguais ou menores a 10 μm e quando inaladas causam ou agravam problemas respiratórios, pois se depositam desde a cavidade nasal podendo chegar aos pulmões [CETESB, 2023].

4.2.4 Dióxido de enxofre (SO_2)

O dióxido de enxofre é um gás incolor emitido para a atmosfera principalmente através da combustão de materiais fósseis em refinarias de petróleo e veículos a diesel. Também pode ser gerado de forma natural, especialmente decorrente de erupções vulcânicas. Dentre os principais problemas decorrentes da intoxicação por SO_2 estão irritações as mucosas dos olhos, nariz, garganta e trato respiratório, causando tosse e agravando doenças respiratórias [SANTOS, 2019; TORRES, 2020]. O SO_2 presente na atmosfera corrobora para a formação da chuva ácida [CETESB, 2021].

4.2.5 Ozônio (O_3)

O ozônio é um gás que apresenta instabilidade, é muito reativo e fortemente oxidante. O O_3 é produzido durante o *smog* fotoquímico, que é caracterizado por uma série de reações que ocorrem entre o oxigênio e o NO_2 , catalisadas pela luz do sol [SOUZA, 2023]. Os hidrocarbonetos voláteis também são citados como precursores da formação de O_3 na atmosfera. O O_3 pode ser encontrado tanto na troposfera quanto na estratosfera. Quando se encontra na troposfera, este gás causa grandes prejuízos ao meio ambiente e à saúde humana [MANISALIDIS, 2020]. A inalação de O_3 provoca danos às proteínas, levando a produção de radicais livres, que contribuem para a ocorrência de doenças de pele, como eczema e urticária [BONATTO, 2022]. Além disso, o O_3 causa inflamação das vias aéreas, diminuindo a capacidade pulmonar, aumentando os sintomas de asma e outras doenças respiratórias [COUTINHO, 2022].



4.3 Metodologia de Monitoramento

A metodologia dos analisadores utilizados na rede Ar do Sul é apresentada no Quadro 4, sendo que apenas analisadores de fabricantes cujo método é aprovado pela *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos da América são empregados.

Quadro 4: Princípios de medição específicos para cada poluente.

POLUENTE	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Inaláveis – PI10	Radiação Beta e Micro-balança
Dióxido de Enxofre – SO ₂	Fluorescência Ultravioleta
Monóxido de Carbono - CO	Infravermelho não-dispersivo
Óxidos de Nitrogênio - NO _x	Quimiluminescência
Ozônio – O ₃	Fotometria Ultravioleta

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Divulgação da Qualidade do Ar

O Boletim de Qualidade do Ar das estações automáticas de monitoramento é divulgado diariamente no *site* da FEPAM (<http://www.fepam.rs.gov.br/>). O período de 24 h abrange os dados coletados entre as 00:00 h e 24:00 h. Considera-se na análise para cada poluente para a geração do índice os seguintes critérios:

- SO₂ – médias aritméticas de 24 horas;
- PI10 – médias aritméticas de 24 horas;
- NO₂ – máxima diária das médias de 1 hora;
- O₃ – máxima média móvel de 8 horas diária;
- CO – máxima média móvel de 8 horas diária.

4.5 Representatividade dos Dados de Qualidade do Ar

A definição de critérios para representatividade de dados é crucial em todos os sistemas de monitoramento. Os resultados provenientes de redes automáticas de monitoramento podem apresentar lacunas no banco de dados devido a uma variedade de fatores, incluindo falhas operacionais, problemas de manutenção de equipamentos, softwares,





comunicação e energia, entre outros. Assim, a adoção e a sistematização desses critérios asseguram a confiabilidade dos resultados em questão. Os critérios de representatividade de dados empregados pela rede Ar do Sul são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Critérios de representatividade de dados.

MÉDIA	REDE AR DO SUL
Horária	$\geq 3/4$ das medidas válidas na hora
Diária	$\geq 2/3$ das médias horárias válidas no dia
Anual	$\geq 50\%$ das médias válidas em cada quadrimestre (por estação do ano)

Fonte: Elaborado pelo autor.



4.6 Percentual de Dados Válidos em 2023

O Quadro 6 apresenta o percentual de dados válidos obtidos para cada poluente em cada estação de monitoramento para o ano de 2023, calculados para cada uma das estações do ano (outono: 20-03 a 20-06, inverno: 21-06 a 22-09, primavera: 23-09 a 21-12 e verão: 01-01 a 19-03 e 22-12 a 31-12).

Quadro 6: Percentual de dados válidos por poluente por estação em 2023.

ESTAÇÃO	Poluente	Outono (%)	Inverno (%)	Primavera (%)	Verão (%)	Anual (%)
Canoas/PU	CO	99,7	99,1	100,0	97,3	99,0
	O ₃	99,7	99,1	100,0	96,0	98,7
	NO ₂	99,7	99,1	100,0	98,4	99,3
	SO ₂	99,7	99,1	100,0	98,5	99,3
	PI10	0,0	0,0	0,0	65,3	16,3
Esteio/PE	CO	99,6	97,2	98,4	97,7	98,2
	O ₃	99,6	97,2	100,0	99,3	99,0
	NO ₂	38,9	65,4	98,2	82,2	71,2
	SO ₂	99,6	97,1	99,9	99,1	98,9
	PI10	98,3	96,8	98,5	97,3	97,7
Gravataí/JT	CO	98,5	88,2	100,0	73,8	90,1
	O ₃	91,0	71,7	72,5	89,7	81,2
	NO ₂	98,4	89,1	99,8	73,7	90,3
	SO ₂	98,4	89,2	100,0	73,6	90,3
	PI10	3,4	0,0	0,0	38,7	10,5
Triunfo/Polo Petroquímico	CO	ND	ND	ND	ND	93,0
	O ₃	ND	ND	ND	ND	90,2
	NO ₂	ND	ND	ND	ND	90,0
	SO ₂	ND	ND	ND	ND	93,4
	PI10	ND	ND	ND	ND	44,3
Guaíba/Parque 35	CO	95,1	87,7	71,8	84,5	84,8
	O ₃	97,5	99,1	94,4	99,1	97,5
	NO ₂	96,2	99,5	96,9	79,7	93,1
	SO ₂	98,1	92,4	80,1	96,6	91,8
	PI10	98,3	100,0	98,0	99,3	98,9
Rio Grande/FURG	CO	93,7	91,0	77,6	96,0	89,6
	O ₃	74,8	93,1	77,6	97,3	85,7
	NO ₂	66,7	93,8	79,2	75,9	78,9
	SO ₂	93,6	74,3	79,2	65,4	78,1
	PI10	84,5	91,9	71,7	78,8	81,7

ND = não determinado

Fonte: Elaborado pelo autor.



Células destacadas em vermelho no Quadro 6 indicam que não houve dados suficientes para obter a representatividade anual ou para determinada estação do ano, conforme critério anual do Quadro 5 do item 4.5.

5 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR

As fontes dos poluentes atmosféricos podem ser tanto antrópicas quanto naturais. Normalmente cada poluente tem origem principal relacionada a um tipo de fonte, conforme Quadro 7.

Quadro 7: Principais fontes dos poluentes atmosféricos.

Poluente	Principais Fontes Antropogênicas	Principais Fontes Naturais
Partículas Inaláveis (PI10)	Processos de combustão (indústrias e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Pólen, aerossol marinho e solo.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Combustão de combustíveis fósseis (carvão), queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel.	Vulcões, emissões de reações biológicas.
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, indústrias, usinas termoeletricas (óleo, gás, carvão) e incineração.	Processos biológicos no solo e relâmpagos.
Monóxido de Carbono (CO)	Combustão incompleta em geral, principalmente em veículos automotores.	Queimadas e reações fotoquímicas.
Ozônio (O ₃)	Não é emitido diretamente à atmosfera, sendo produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os NO _x e compostos orgânicos voláteis (VOCs).	Descargas elétricas (raios).

Fonte: Elaborado pelo autor



6 ESTIMATIVAS DE EMISSÃO DE FONTES MÓVEIS E FIXAS

6.1 Fontes Fixas

O Rio Grande do Sul não dispõe de um inventário de fontes fixas. Porém, com vista a indicar regiões prováveis de terem elevada poluição de origem industrial, a Figura 9 ilustra a participação dos municípios gaúchos no índice de potencial poluidor da indústria (Inpp-I) para o ano de 2009 [FEE, 2002-2009]. Infelizmente não se tem dados mais recentes disponíveis até a publicação deste relatório, mas muito provavelmente a situação se mantenha nesta ordem uma vez que não houve significativa alteração no cenário industrial do Estado nestes últimos anos. É possível observar que a concentração territorial do risco relativo ao potencial poluidor industrial ocorre principalmente em municípios da RMPA e em Caxias do Sul, correspondente às áreas mais densamente povoadas e industrializadas do Estado. Em segundo plano aparecem os municípios de Santa Cruz do Sul e Rio Grande.

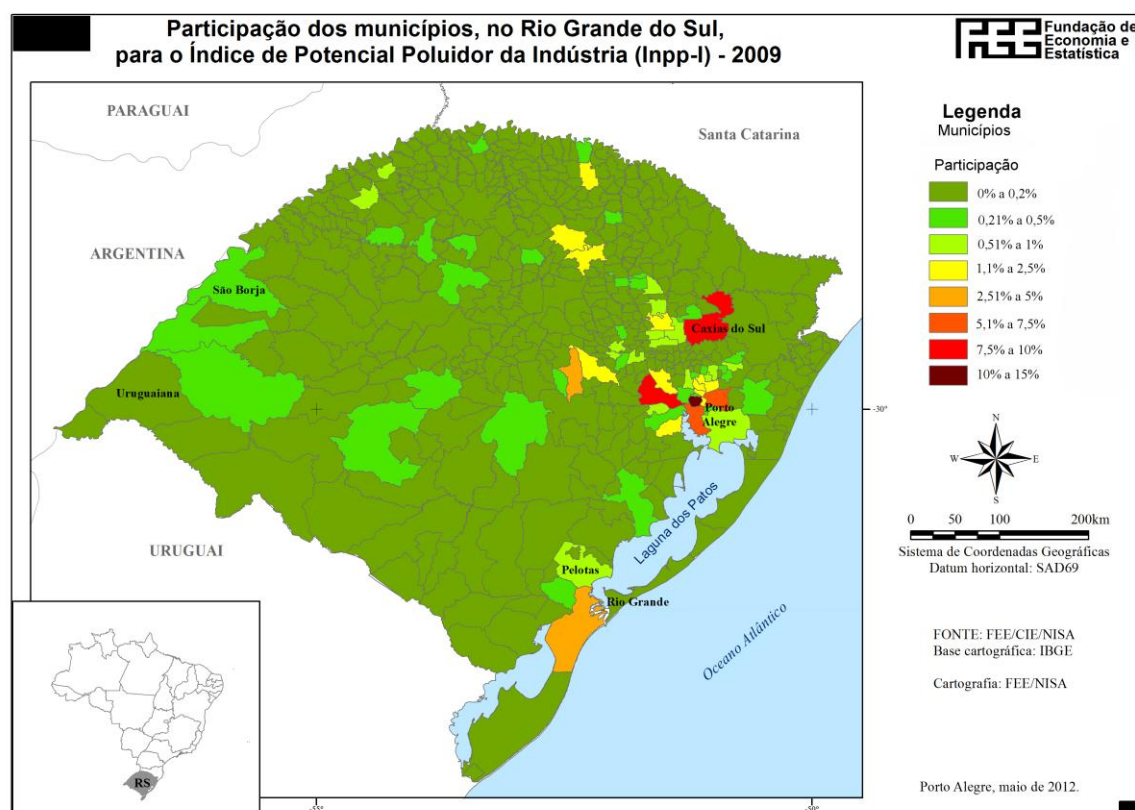


Figura 9: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município.

Fonte: FEE, 2002-2009.

6.2 Fontes Móveis

O Quadro 8 mostra a frota veicular no RS em fevereiro de 2024 [DETRAN, 2024]. Observa-se que a principal categoria é constituída por automóveis que, a princípio, são os maiores contribuintes da poluição veicular nos centros urbanos. O Quadro 9 mostra a distribuição da frota veicular do Estado do Rio Grande do Sul por tipo de combustível. É possível observar que a participação dos veículos *flex* (que podem utilizar álcool e gasolina) é significativa, mas os automóveis a gasolina ainda são maioria no Estado. Observa-se ainda a pouca participação dos veículos elétricos ou que usam combustíveis alternativos, como gás natural.

Quadro 8: Frota veicular do RS por tipo em fev/2024.

Frota	Carga	Coleção	Competição	Especial	Misto	Passageiro	Tração	Total
Automóvel	273	4.376	64	1.352	2.249	4.512.473	0	4.520.787
Motocicleta, motoneta e ciclomotor	15.036	405	386	15	0	1.277.984	0	1.293.826
Caminhão e Caminhão Trator	241.628	64	0	8.933	0	2	80.741	331.368
Reboques	313.685	3	1	10.275	0	157	27	324.148
Ônibus e Microônibus	107	7	1	3.632	1	56.990	0	60.738
Tratores	456	1	3	299	1	6	8.469	9.235
Utilitários, Caminhonetes e Camionetas	395.409	365	14	265.509	449.818	2.678	2	1.113.795
Outros	1.148	39	13	9.562	10	808	0	11.580
Total	967.742	5.260	482	299.577	452.079	5.851.098	89.239	7.665.477

Fonte: DETRAN-RS.

Quadro 9: Frota veicular do RS frente ao tipo de combustível utilizado em fev/2024.

Combustível	Automóvel	Motocicleta, motoneta e ciclomotor	Caminhão e Caminhão Trator	Reboques	Ônibus e Microônibus	Tratores	Utilitários, Caminhonetes e Camionetas	Outros	Total
Álcool	152.934	98	67	0	11	1	13.310	25	166.446
Álcool/Gás Natural Veicular	1.552	0	0	0	0	0	171	0	1.723
Álcool/Gasolina	2.232.203	252.247	0	0	1.377	0	461.980	349	2.948.156
Diesel	3.398	4	329.261	0	58.530	9.055	324.225	8.922	733.395
Diesel/Gás Natural (Combin.)	0	0	0	0	0	0	4	0	4
Diesel/Gás Natural Veicular	0	0	18	0	0	0	1	0	19
Elétrico/Fonte Externa	1.318	370	7	0	11	0	798	13	2.517
Elétrico/Fonte Interna	64	387	19	0	1	1	23	3	498
Gás Metano	4	0	0	0	0	68	1	4	77
Gás Natural Veicular	2	0	184	0	2	0	3	0	191
Gasogênio	7	2	0	0	0	25	3	1	38
Gasolina	2.069.982	1.040.716	1.757	25	741	57	285.166	1.988	3.400.432
Gasolina/Álcool/Gás Natural Veicular	34.273	0	0	0	14	0	6.269	3	40.559
Gasolina/Elétrico	1.728	1	0	0	0	0	4.351	0	6.080
Gasolina/Gás Natural Veicular	21.495	0	54	0	51	1	14.247	14	35.862
Sem Combustível	3	1	0	324.123	0	1	2	256	324.386
Vide Campo Observação	0	0	0	0	0	26	0	2	28

Fonte: DETRAN-RS.



O 1º Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano Base 2009 elaborou as estimativas de emissões de poluentes atmosféricos considerando as macrorregiões que foram idealizadas pelo Programa de Controle de Poluição Veicular – PCPV, conforme ilustrado na Figura 10 [FEPAM/RS, 2010]. Após 2009, não houve novas atualizações do inventário, sendo portanto uma ferramenta importante para análise geral, mas não reflete a real condição atual do estado. Contudo, a frota veicular tem mantido crescimento proporcional constante entre os tipos de veículos e combustíveis utilizados, com distribuição relativa entre as regiões nos últimos anos, embora os veículos mais novos em função dos programas PROCONVE e PROMOT tenham reduzido suas taxas de emissão, o que impactaria nos resultados.

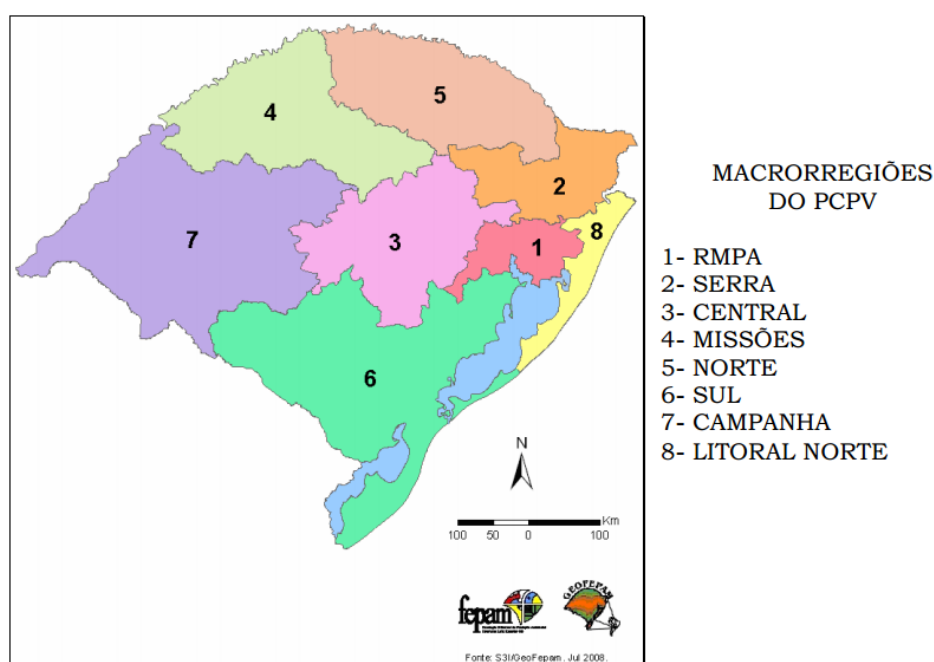


Figura 10: As Macrorregiões do Estado do RS.

Fonte: Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do RS – Ano Base 2009.

De acordo com o referido inventário, a RMPA é responsável por 40% das emissões veiculares do Estado, seguida pela Macrorregião da Serra, com 12% das emissões veiculares totais, conforme a Figura 11.



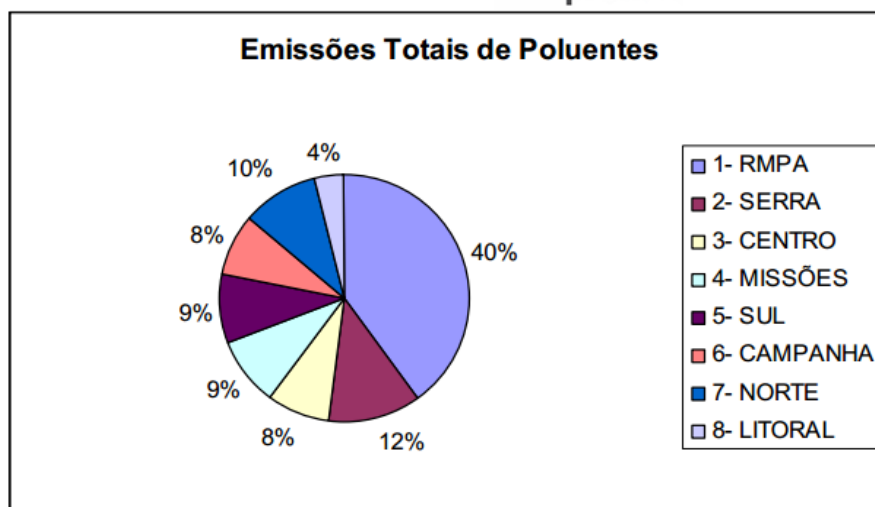


Figura 11: Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado.

Fonte: Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do RS – Ano Base 2009.

O Quadro 10 contém os valores estimados para a emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis, por tipo de combustível e por tipo de poluente. É possível observar que os veículos à gasolina são os maiores responsáveis pelas emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HCs), enquanto que os veículos diesel são os principais responsáveis pelas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas inaláveis (PI), pois apesar da frota de veículos diesel ser de apenas cerca de 10% do total da frota do Estado, estes contribuem com mais de 30% das emissões totais de material particulado. Os aldeídos (RCHO) são emitidos por veículos à gasolina devido à mistura de álcool anidro a este combustível na proporção de 27,5%.

Quadro 10: Estimativa das emissões atmosféricas por fontes móveis no RS (2009).

EMISSIONES ESTADO (1000ton/ano)					
	NO _x	CO	HC	RCHO	MP
GASOLINA	14,80	283,81	19,11	0,21	1,62
GASOLINA (motos)*	5,15	86,47	10,40	0,40	*
ÁLCOOL	7,59	54,03	2,03	*	*
DIESEL	36,84	6,52	2,09		0,78
TOTAL	64,38	430,83	33,63	0,61	2,40

OBS.: Motos são consideradas em separado devido ao seu perfil diferenciado de autonomia e consumo de combustível, e maior contribuição na emissão de poluentes atmosféricos.

Fonte: 1º Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do RS – Ano Base 2009.





Sabe-se que, de forma geral, o desgaste dos pneus contribui para as emissões de material particulado tanto quanto a queima de combustíveis, mas este não está sendo considerado na tabela acima e nem fez parte do relatório de fontes móveis consultado.



7 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA 491 de 19/11/2018. Um padrão de qualidade do ar é um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como 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 poluentes atmosféricos estabelecidos pela Resolução CONAMA 491 são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11: Padrões de qualidade do ar.

POLUENTE	PERÍODO DE REFERÊNCIA	PI-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão	24 h	---	---	---	240
	Média geométrica anual	---	---	---	80
Partículas inaláveis – PI10	24 h	120	100	75	50
	Média aritmética anual	40	35	30	20
Partículas inaláveis – PI2,5	24 h	60	50	37	25
	Média aritmética anual	20	17	15	10
Fumaça	24 h	12	100	75	50
	Média aritmética anual	40	35	60	20
Dióxido de enxofre	24 h	125	50	30	20
	Média aritmética anual	40	30	20	---
Dióxido de nitrogênio	1 h	260	240	220	200
	Média aritmética anual	60	50	45	40
Monóxido de carbono	8 h (móvel)	---	---	---	9 ppm
Ozônio	8 h (móvel)	140	130	120	100
Chumbo	Anual	---	---	---	0,5

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 491/2018.

Os Padrões de Qualidade do Ar definidos na Resolução CONAMA 491 serão adotados sequencialmente, 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 (PI-2, PI-3) e Final (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 Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo foi adotado o padrão de qualidade do ar final (PF), a partir da publicação da Resolução CONAMA 491.

A Resolução CONAMA 491 estabelece ainda episódio crítico de poluição do ar quando observada a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos. Ficam estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência (Quadro 12).

Quadro 12: Níveis de poluição do ar para episódios críticos.

POLUENTE	PERÍODO DE REFERÊNCIA	ATENÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ALERTA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EMERGÊNCIA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas inaláveis – PI10	24 h	250	420	500
Partículas inaláveis – PI2,5	24 h	125	210	250
Dióxido de enxofre	24 h	800	1600	2100
Dióxido de nitrogênio	1 h	1130	2260	3000
Monóxido de carbono	8 h (média móvel)	15 ppm	30 ppm	40 ppm
Ozônio	8 h (média móvel)	200	400	600

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 491/2018.





8 POLUENTES E A QUALIDADE DO AR

8.1 Índice de Qualidade do Ar (IQAr)

O Índice de Qualidade do Ar é uma ferramenta matemática utilizada para transformar as concentrações medidas dos diversos poluentes em um único valor adimensional que possibilita a comparação com os limites legais de concentração (padrões de qualidade) para os diversos poluentes, sendo estabelecidas na FEPAM as seguintes categorias: “Boa”, “Regular”, “Inadequada”, “Má”, “Péssima” e “Crítica”, que são respectivamente associadas às cores: verde, amarelo, laranja, vermelho, roxo e preto.

O IQAr proposto pela FEPAM é obtido através de uma função linear segmentada, na qual os pontos de inflexão baseiam-se nos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar e nos critérios para episódios agudos da poluição do ar estabelecidos conforme a Resolução CONAMA 491 de 19/11/2018, para cinco poluentes atmosféricos, a saber: Partículas Inaláveis (PI10), Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio, Ozônio e Monóxido de Carbono.

O IQAr é divulgado diariamente para cada estação da Rede de Monitoramento Automática da Qualidade do Ar, considerando-se o índice mais elevado dos poluentes monitorados, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso. A ultrapassagem dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar identifica qualidade INADEQUADA (IQAr maior que 100). A qualidade MÁ (IQAr maior que 199) indica a ultrapassagem do Nível de Atenção, a qualidade PÉSSIMA indica a ultrapassagem do Nível de Alerta (IQAr maior que 299) e a qualidade CRÍTICA, a ultrapassagem do Nível de Emergência (IQAr maior que 399). A Figura 12 apresenta as faixas de equivalências de concentrações e índices de qualidade respectivos para os poluentes monitorados pela rede automática.



ÍNDICE DA QUALIDADE DO AR (IQAr)								
Qualidade	Índice	Níveis de Cautela sobre a Saúde	PI _{2,5} (µg/m³)	PI ₁₀ (µg/m³)	S _{O2} (µg/m³)	NO ₂ (µg/m³)	CO (ppm)	O ₃ (µg/m³)
 Boa	0-40	Seguro à Saúde	0-25	0-50	0-20	0-200	0-9,0	0-100
 Regular	41-100	Tolerável	26-60	51-120	21-125	201-260	****	101-140
 Inadequada	101-199	Insalubre para Grupos Sensíveis	61-124	121-249	126-799	261-1129	9,1-14,9	141-199
 Má	200-299	Muito Insalubre (Nível de Atenção)	125-209	250-419	800-1599	1130-2259	15,0-29,9	200-399
 Péssima	300-399	Perigoso (Nível de Alerta)	210-249	420-499	1600-2099	2260-2999	30,0-39,9	400-599
 Crítica	400 ou maior	Muito Perigoso (Nível de Emergência)	≥ 250	≥ 500	≥ 2100	≥ 3000	≥ 40	≥ 600
Os índices com classificação BOA ou REGULAR, atendem aos Padrões de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA 491 de 19/11/2018.								

Figura 12: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.
Fonte: FEPAM.

8.2 IQAr e Seus Efeitos na Saúde

O Índice de Qualidade do Ar está associado aos efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana (Quadro 13).

Quadro 13: Relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde.

QUALIDADE	ÍNDICE	EFEITOS PRINCIPAIS NA SAÚDE
Boa	0-40	Efeitos desprezíveis.
Regular	41-100	Pessoas com doenças respiratórias e/ou cardíacas podem apresentar sintomas como dor no peito, tosse seca e cansaço.
Inadequada	101-199	Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, dor no peito, nariz e garganta, tosse seca e cansaço.
Má	200-299	Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.
Péssima	300-399	Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares e respiratórios, como tosse, cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares. Risco de agravos à gestação.
Crítica	400 ou maior	Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias.

Fonte: FEPAM.



9 RESULTADOS

9.1 Índice de Qualidade do Ar em 2023

O Quadro 14 mostra o número de dias no ano de 2023 em que cada estação de monitoramento atingiu determinada categoria do IQAr.

Quadro 14: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2023.

2023 (TOTAL)	Canoas	Rio Grande	Esteio	Triunfo (Polo Petroquímico)	Gravataí	Guaíba	TOTAL (%)
Nº dias IQAr BOM	341	243	283	326	268	339	90,27
Nº dias IQAr REGULAR	20	90	41	21	1	21	9,73
Nº dias IQAr INADEQUADO	0	0	0	0	0	0	0,00
Nº dias IQAr MÁ	0	0	0	0	0	0	0,00
Nº dias IQAr PÉSSIMO	0	0	0	0	0	0	0,00
Nº dias IQAr CRÍTICO	0	0	0	0	0	0	0,00
Total de dias com IQAr avaliado	361	333	324	347	269	360	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o IQAr e considerando o somatório das seis estações atualmente em operação na rede Ar do Sul, observa-se que em 2023 tivemos 90,27% dos dias com qualidade do ar boa e 9,73% com qualidade regular. Não houve registros de qualidade “inadequada” ou pior no ano de 2023.

A Figura 13 mostra o gráfico do IQAr, por percentual de dias, de cada estação de monitoramento.

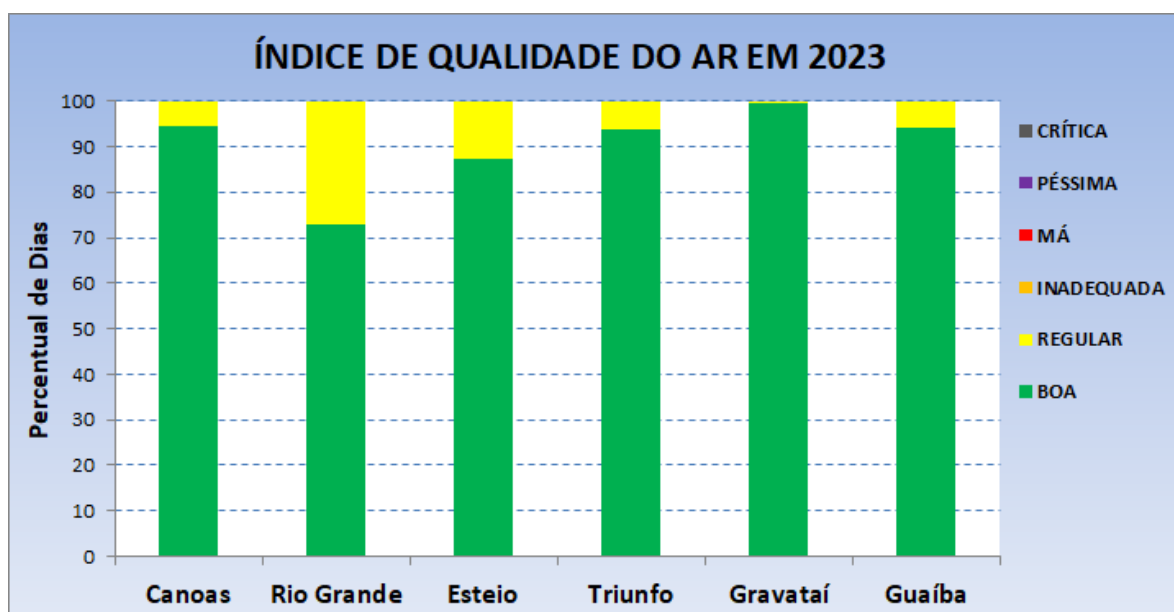


Figura 13: Gráfico do IQAr por Estação de Monitoramento.

Fonte: Elaborado pelo autor.



9.2 Dados do Monitoramento em 2023

Para o cálculo das médias das concentrações de cada poluente, os valores de concentração obtidos abaixo do limite de detecção foram considerados, para efeito de cálculo, como a metade do limite de detecção do respectivo analisador.

Nas tabelas contendo as médias anuais dos poluentes, as células sem dados indicam ausência do analisador na estação ou que o mesmo não forneceu nenhum dado válido no período ou que o analisador esteve fora de operação no referido período por problemas técnicos. Os dados em vermelho nas tabelas indicam que o valor médio calculado para o ano não atendeu o critério de representatividade anual (>50% de dados válidos ou que não tenha sido obtida nenhuma amostragem válida em alguma das quatro estações do ano), conforme Quadro 6, apresentada no item 4.6 deste relatório, mas foram mantidos para registro e avaliação de tendência.

9.2.1 Poluentes Atmosféricos: concentração média anual

No Quadro 15 são apresentas, para o ano de 2023, as médias anuais de concentração dos poluentes ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e partículas inaláveis (PI10).

Quadro 15: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2023.

ESTAÇÃO	NO ₂	O ₃	CO	PI10	SO ₂
	Média Horária Anual			Média Diária Anual	
	µg/m³		ppm	µg/m³	
Canoas/PU	7,4	29,1	1,0	19,1	8,2
Esteio/PE	20,6	21,6	2,6	20,2	11,8
Gravataí/JT	9,2	20,2	0,2	14,8	1,4
Triunfo/Polo Petroquímico	8,1	12,1	0,2	14,6	0,9
Rio Grande/Porto-FURG	6,2	33,7	1,7	17,0	18,5
Guaíba/Parque 35	10,5	29,5	0,8	26,2	2,3
Padrão de Qualidade (Conama 491/2018)	60	---	---	40	40

* Valores em vermelho não atenderem o critério da representatividade do ano.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Os dados mostram que a concentração dos poluentes PM_{10} , NO_2 e SO_2 se mantiveram abaixo dos padrões de qualidade anual estabelecidos, conforme Resolução CONAMA 491/18. Não são estabelecidos padrões de qualidade anual para O_3 e CO.

9.2.2 Poluentes Atmosféricos: últimos cinco anos

9.2.2.1 – Ozônio (O_3)

Quadro 16: Concentração média anual de O_3 nos últimos 5 anos.

O_3 - MÉDIA HORÁRIA ANUAL – $\mu g/m^3$					
ESTAÇÃO	2019	2020	2021	2022	2023
Canoas/PU	26,1	24,4	28,4	22,0	29,1
Esteio/VE e Esteio/PE **	12,5	12,7	21,9	21,3	21,6
Gravataí/JT	23,3	35,5	33,6	38,4	20,2
Triunfo/Polo Petroquímico	28,6	29,0	26,3	15,6	12,1
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	---	42,6	33,7
Guaíba/Parque 35	30,8	31,3	27,8	24,9	29,5
MÉDIA GERAL*	27,2	30,1	27,6	23,1	24,4

* Valores em vermelho não incluídos na média geral, por não atenderem o critério de representatividade do ano.

** No ano de 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. De 2020 a 2023 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que não houve alteração significativa dos teores médios de O_3 no ambiente nos últimos 5 anos.

9.2.2.2 – Monóxido de Carbono (CO)

Quadro 17: Concentração média anual de CO nos últimos 5 anos.

CO - MÉDIA HORÁRIA ANUAL - ppm					
ESTAÇÃO	2019	2020	2021	2022	2023
Canoas/PU	0,3	0,2	---	2,0	1,0
Esteio/VE e Esteio/PE **	0,2	0,7	1,6	2,5	2,6
Gravataí/JT	0,2	0,2	0,2	---	0,2
Triunfo/Polo Petroquímico	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	---	1,4	1,7
Guaíba/Parque 35	1,9	0,5	0,5	0,8	0,8
MÉDIA GERAL*	0,7	0,4	0,7	0,5	1,1

* Valores em vermelho não incluídos na média geral, por não atenderem o critério de representatividade do ano.

** No ano de 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. De 2020 a 2023 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Os dados indicam que não houve alteração significativa dos teores médios de CO no ambiente nos últimos 5 anos, exceto pela região de Esteio que mostra tendência de aumento do poluente, provavelmente decorrente do aumento da frota veicular da região.

9.2.2.3 – Dióxido de Enxofre (SO₂)

Quadro 18: Concentração média anual de SO₂ nos últimos 5 anos.

SO ₂ – MÉDIA DIÁRIA ANUAL - µg/m ³					
ESTAÇÃO	2019	2020	2021	2022	2023
Canoas/PU	16,4	7,8	15,2	12,5	8,2
Esteio/VE e Esteio/PE **	19,8	11,2	17,2	15,8	11,8
Gravataí/JT	1,3	1,3	1,5	---	1,4
Triunfo/Polo Petroquímico	1,3	1,4	1,4	1,3	0,9
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	---	13,8	18,5
Guaíba/Parque 35	1,2	1,3	1,5	1,8	2,3
MÉDIA GERAL *	6,3	3,5	8,8	8,6	7,2

* Valores em vermelho não incluídos na média geral, por não atenderem o critério de representatividade do ano.

** No ano de 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. De 2020 a 2023 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados indicam que não houve alteração significativa dos teores médios de SO₂ no ambiente nos últimos 5 anos.

9.2.2.4 – Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Quadro 19: Concentração média anual de NO₂ nos últimos 5 anos.

NO ₂ – MÉDIA HORÁRIA ANUAL - µg/m ³					
ESTAÇÃO	2019	2020	2021	2022	2023
Canoas/PU	12,9	13,8	11,4	8,2	7,4
Esteio/VE e Esteio/PE **	14,9	12,8	17,5	16,3	20,6
Gravataí/JT	8,8	5,6	10,9	3,6	9,2
Triunfo/Polo Petroquímico	3,4	---	9,2	6,5	8,1
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	---	11,1	6,2
Guaíba/Parque 35	9,9	12,8	12,7	12,6	10,5
MÉDIA GERAL *	10,5	10,7	11,1	6,5	10,3

* Valores em vermelho não incluídos na média geral, por não atenderem o critério de representatividade do ano.

** No ano de 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. De 2020 a 2023 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Os dados indicam que não houve alteração significativa dos teores médios de NO₂ no ambiente nos últimos 5 anos.

9.2.2.5 – Partículas Inaláveis (PI10)

Quadro 20: Concentração média anual de PI10 nos últimos 5 anos.

PI10 – MÉDIA DIÁRIA ANUAL – µg/m³					
ESTAÇÃO	2019	2020	2021	2022	2023
Canoas/PU	21,9	16,5	16,6	19,4	19,1
Esteio/VE e Esteio/PE **	16,0	19,8	20,3	17,8	20,2
Gravataí/JT	16,9	16,5	16,4	16,4	14,8
Triunfo/Polo Petroquímico	20,4	33,5	20,0	13,6	14,6
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	---	31,4	17,0
Guaíba/Parque 35	26,9	25,9	25,7	25,1	26,2
MÉDIA GERAL *	21,9	19,6	19,8	21,5	19,5

* Valores em vermelho não incluídos na média geral, por não atenderem o critério de representatividade do ano.

** No ano de 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. De 2020 a 2023 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de PI10 se mantiveram praticamente constantes aos longos dos últimos 5 anos de monitoramento.

9.2.3 Poluentes Atmosféricos: concentração máxima anual

O Quadro 21 apresenta a concentração máxima anual obtida para cada poluente na respectiva Estação de Monitoramento.

Quadro 21: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2023.

ESTAÇÃO	CO	O ₃	NO ₂	PI10	SO ₂
	Máxima 8h móvel anual		Máxima horária anual	Máxima diária anual	
	ppm	µg/m³			
Canoas/PU	3,1	126,6	68,5	36,6	30,9
Esteio/PE	6,8	94,2	84,6	83,9	48,5
Gravataí/JT	1,2	105,2	106,4	30,6	4,6
Triunfo/Polo Petroquímico	0,5	82,9	76,2	65,0	3,8
Rio Grande/Porto-FURG	3,0	123,1	69,6	72,5	72,6
Guaíba/Parque 35	8,5	97,9	117,8	85,0	6,6
Padrão de Qualidade (Conama 491/2018)	140	9	260	120	125

* Valores em vermelho indicam que não atenderam o critério da representatividade do ano.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Conforme os dados apresentados, não houve registro de ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar em 2023 para nenhuma das estações de monitoramento.

9.2.4 Poluentes Atmosféricos: média anual das máximas concentrações

O Quadro 22 apresenta a média anual das máximas concentrações obtida para cada poluente na respectiva Estação de Monitoramento em 2023. Estes dados são exclusivamente úteis para avaliações de estudos de dispersão atmosférica (EDA) conforme DIRETRIZ TÉCNICA FEPAM N.º 11/2023, de 21 de março 2023.

Quadro 22: Média anual das máximas concentrações dos poluentes em 2023.

ESTAÇÃO	CO	O ₃	NO ₂	PM10	SO ₂
	Média Anual das Máximas de Cada Dia (8h móvel)		Média Anual das Máxima Horária de Cada Dia	Média Anual das Máximas Mensais de Cada Dia	
	ppm	µg/m³			
Canoas/PU	1,4	46,6	18,0	33,6	17,6
Esteio/PE	3,1	30,2	37,5	48,1	20,7
Gravataí/JT	0,2	24,4	21,8	24,9	2,9
Triunfo/Polo Petroquímico	0,2	20,7	16,8	32,1	2,7
Rio Grande/Porto-FURG	1,8	36,7	14,9	31,1	28,3
Guaíba/Parque 35	1,3	42,1	26,9	58,7	4,0

* Valores em vermelho indicam que não atenderam o critério da representatividade do ano.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cálculo da média aritmética das máximas concentrações diárias de padrões horários (caso do dióxido de nitrogênio), foi utilizado o máximo valor de concentração do poluente obtido dentre os 24 valores horários do dia, sendo então calculada a média aritmética de todas as máximas de cada dia do ano de 2023. Para os padrões de 8 h móvel (casos de monóxido de carbono e ozônio), utilizou-se o máximo valor das médias móveis de 8 h do dia, sendo então calculada a média aritmética de todas as máximas de cada dia do período considerado. Para poluentes com padrão diário - 24 h (casos de material particulado e dióxido de enxofre), foi utilizado o maior valor obtido dentre os dias monitorados em cada mês, sendo então calculada a média aritmética da concentração destes dias.



10 CONCLUSÕES

Os dados de monitoramento da qualidade do ar obtidos ao longo do ano de 2023 pela rede Ar do Sul em seis estações de monitoramento localizadas nas cidades de Canoas, Esteio, Gravataí, Rio Grande, Triunfo e Guaíba mostraram que não houve ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 491/2018 para os poluentes SO₂, CO, PI10, NO₂ e O₃.

Em termos de concentrações médias anuais, observou-se que em 2023 não houve alteração significativa das concentrações destes poluentes no ambiente em relação aos últimos quatro anos anteriores.

Os dados coletados em 2023 para as seis estações de monitoramento em termos de IQAr, mostraram que tivemos 90,27% dos dias com qualidade do ar boa e 9,73% com qualidade regular. Não houve registros de qualidade “inadequada” ou pior no ano de 2023.

Em suma, nos locais do Estado onde se dispõe de estação de monitoramento automática da qualidade do ar, os dados do monitoramento obtidos pela rede Ar do Sul da FEPAM para o ano de 2023 mostram que os níveis dos poluentes presentes na atmosfera se mantiveram constantes em relação aos anos anteriores e atenderam aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela atual legislação.



11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 005, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 de agosto de 1989, Seção 1, p. 14713-14714.

_____. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre os Padrões de Qualidade do Ar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 de novembro de 2018, Seção 01, Página 155-156.

_____. Resolução nº 008, de 06 de dezembro de 1990. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de dezembro de 1990, Seção 1, página 25539.

_____. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 de janeiro de 2007, Seção 1, páginas 131-137.

_____. Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de dezembro de 2011.

_____. Resolução nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 92-95. 32

_____. Resolução nº 018, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de junho de 1986, Seção 1, páginas 8792-8795.

_____. Resolução nº 297, de 26 de fevereiro de 2002. Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 de março de 2002, Seção 1, páginas 86-88.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Estadual 15.434, de 09 de janeiro de 2020**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Publicado no DOE - RS em 10 de janeiro de 2020.

_____. **Departamento de Economia e Estatística (DEE) da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão**. Porto Alegre. Disponível em < <https://dee.rs.gov.br/pib-gaucha-tem-crescimento-de-1-7-em-2023>>. Acesso em 15 abr. 2024.

_____. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO (SPGG). **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Edição: 7ª ed. Setembro de 2022. Disponível em <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/grau-de-urbanizacao>. Acesso em: 15 abr. 2024.



_____. **Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN).** Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br>>. Acesso em 15 abr. 2024.

DANNI, I. M. **Aspectos Temporo-espaciais da Temperatura e Umidade relativa de Porto Alegre em Janeiro de 1982:** contribuição ao estudo do clima urbano. São Paulo, 1987. 129p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **Potencial Poluidor da Indústria no RS:** Análise dos Dados 2002–2009. Porto Alegre. Disponível em <<http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/indicadores-ambientais/destaques/>>. Acesso em 27 abr. 2020.

_____. **Potencial Poluidor da Indústria no RS:** Análise dos Dados 2002–2009. Porto Alegre. Disponível em <<http://cdn.fee.tche.br/ipp/mapas/mapa-2.png>>. Acesso em 27 abr. 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUÍS ROESSLER – FEPAM/RS. **Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano base 2009.** Porto Alegre, 2010.

_____. **Poluentes - IQAr, Efeitos e Precauções.** Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes_ef_prec_iqar.asp>. Acesso em 15 abr. 2024.

_____. **Índice de Qualidade do Ar (IQAr).** Disponível em <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/iqar.asp>>. Acesso em 15 abr. 2024.

_____. **Monitoramento da Qualidade do Ar.** Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/monitor_ar.asp>. Acesso em 15 abr. 2024.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2022 (versão 1).** Porto Alegre, 2023. Disponível em <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorios.asp>>. Acesso em 15 abr. 2024.

RAO, V. B. e HADA, K. **Characteristics of rainfall over Brazil:** Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. Theor. Appl. Climatol., v. 42, p. 81-91, 1990.

SILVEIRA, José Carlos S.; M.B. Jaci. **Análise das anomalias positivas e negativas de precipitações e temperaturas relacionadas com eventos La Niña e El Niño na cidade do Rio Grande – RS.** Saraiva, 1999.

STRAHLER, A.N. **Geografia Física.** Barcelona: Ômega, 1977.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Quality Guidelines Global Update 2005:** Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, 2006.



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 19/04/2024.

SOUZA, M.C.R., Freitas, B.R., Figueiredo, A.P.S., Venial, H.J., Corradini, P.G., Souza, M.O. A Influência dos Compostos Orgânicos Voláteis nas Mudanças Climáticas: Uma breve revisão. **Rev. Virtual Quim.**, 2023, no prelo, 1-14. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20220111> Acesso em: 15 abr. 2024.

MANISALIDIS, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., Bezirtzoglou, E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. **Frontiers in Public Health** 8 (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>. Acesso em: 15 abr. 2024.

BONATTO, Mayara Reis de Oliveira. **Associação Entre Exposição a Fatores de Risco Ambientais e Psoríase**. 2022. 36 f. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Saúde, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uces.br/xmlui/handle/11338/11458>. Acesso em: 15 abr. 2024.

COUTINHO, Samuel Leal Coutinho. **Emissão de Poluentes Atmosféricos por Automóveis no Brasil, 2010-2020: Uma Revisão de Literatura**. Orientador: Geiso Rafael Fonseca Oliveira. 2022. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2022. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/3876>. Acesso em: 14 fev.2023.

SIGNORI, Renato Trevisan. **Variabilidade do Perfil Vertical de Monóxido de Carbono sobre a Região Metropolitana de Manaus e sua Relação com as Queimadas**. 2022. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Clima e Ambiente, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/38840>. Acesso em: 15 abr.2024.

OLIVEIRA, E., BONK, B., FELIX, E.P., et al. Adsorção de Monóxido de Carbono em Carvão Ativado Convencional e Impregnado com 5% de Nióbio. **Revista Matéria**, v.26, n.4, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/46223>. Acesso em 15 abr.2024.

SANTOS, Haroldo Lima; FIALHO, Marcelito Lopes; REIS, Karina Pregnotato; FRANCO, Márcia Villar; OLIVEIRA, Ricardo Bezerra de. RELAÇÃO ENTRE POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE. **Revista Científica Intr@Ciência**, Guarujá, v. 17, p. 155-178, 2019. Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20190312105045.pdf. Acesso em: 15 abr. 2024.

TORRES, L. M.; PINHEIRO, C. D. P. S.; AZEVEDO, S. D.; RODRIGUES, P. R. S.; SANDIM, D. P. R.. Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. **Naturae**, v.2, n.1, p.23-33, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2020.001.0003>. Acesso em: 15 abr.2024.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Dióxido de enxofre**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Dio%CC%81xido-de-enxofre.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.



SOUZA, E. G.; LAZUTA, A. M.; SOUZA, T.; MARQUES, L. C.; LEANDRO, D.; NADALETI, W. C. **Análise Espacial E Temporal da Concentração de Dióxido de Nitrogênio (NO₂) no Brasil (2017-2021): Impacto das Medidas de Restrição da Pandemia de Covid-19 na Redução da Poluição Atmosférica.** Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, n. 39, p. 59-77, 2022. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico/article/view/4474/4146>. Acesso em 15 abr. 2024.

VALADÃO, L. V.; TAVARES, A. S.; SOLLACI, C. B.; CUNHA, C. S.; MPONGO, F. B. Z.; BAPTISTA, G. M. de M. Avaliação dos Efeitos do Isolamento Social nos Níveis de NO₂, Durante a Pandemia de COVID-19, em Áreas Urbanas de Brasília, Anápolis e Goiânia, por Meio de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 74, n. 3, p. 755–771, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n3-65537. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/65537>. Acesso em: 15 abr. 2024.

HE, Y., Jiang, W., Gao, X. *et al.* Short-term effects and economic burden of air pollutants on acute lower respiratory tract infections in children in Southwest China: a time-series study. **Environ Health** 22, 6 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12940-023-00962-3>. Acesso em: 15 abr. 2024.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. (org.). **Óxidos de Azoto (NO_x)**. Disponível em: <https://apambiente.pt/index.php/ar-e-ruído/poluentes>. Acesso em: 15 abr. 2024.

CHEN, Yiang; FUNG, Jimmy C.H.; YUAN, Dehao; CHEN, Wanying; FUNG, Tung; LU, Xingcheng. Development of an integrated machine-learning and data assimilation framework for NO_x emission inversion. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 871, p. 161951-161961, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161951>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723005661?via%3Dihub>. Acesso em: 15 abr. 2024.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (org.) **Integrated Review Plan for the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter**. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-07/documents/201612-final-integrated-review-plan.pdf> Acesso em: 15 abr. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air pollution is responsible for 6.7 million premature deaths every year**. Disponível em: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>. Acesso em: 15 abr. 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Poluentes**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/#:~:text=Sob%20a%20denomina%C3%A7%C3%A3o%20geral%20de,causa%20de%20seu%20pequeno%20tamanho>. Acesso em: 15 abr. 2024.





INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html?localidade=4314902&tema=1>. Acesso em: 14 abr. 2024.

