



**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 2024**

**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	18
3.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA DISPERSÃO DE POLUENTES EM 2024	19
4 REDE DE MONITORAMENTO	27
4.1 REDE ESTADUAL DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICA DA QUALIDADE DO AR	27
4.1.1 ESTAÇÃO GRAVATAÍ/JT	28
4.1.2 ESTAÇÃO RIO GRANDE/PORTO/FURG	28
4.1.3 ESTAÇÃO CANOAS/PU	28
4.1.4 ESTAÇÃO TRIUNFO/POLO PETROQUÍMICO	28
4.1.5 ESTAÇÃO ESTEIO/PE	28
4.1.6 ESTAÇÃO GUAÍBA/PARQUE 35	28
4.1.7 ESTAÇÃO PORTO ALEGRE/CETE	29
4.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORADOS	29
4.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	29
4.2.2 ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NOx)	29
4.2.3 MATERIAL PARTICULADO (MP10 E MP2,5)	30
4.2.4 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO2)	30
4.2.5 OZÔNIO (O3)	31
4.3 METODOLOGIA DE MONITORAMENTO	31
4.4 DIVULGAÇÃO DA QUALIDADE DO AR	31
4.5 REPRESENTATIVIDADE DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR	32
4.6 PERCENTUAL DE DADOS VÁLIDOS EM 2024	32
5 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR	34
6 ESTIMATIVAS DE EMISSÃO DE FONTES MÓVEIS E FIXAS	35
6.1 FONTES FIXAS	35
6.2 FONTES MÓVEIS	36
7 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	40
8 POLUENTES E A QUALIDADE DO AR	42
8.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAR)	42
8.2 IQAR E SEUS EFEITOS NA SAÚDE	43





9	RESULTADOS	44
9.1	ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR EM 2024	44
9.2	DADOS DO MONITORAMENTO EM 2024	45
9.2.1	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL</i>	45
9.2.2	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: ÚLTIMOS CINCO ANOS</i>	46
9.2.3	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÁXIMA ANUAL</i>	49
9.2.4	<i>ESTUDO DOS CASOS DE ULTRAPASSAGEM DO PADRÃO DE QUALIDADE DO AR</i>	49
9.2.5	<i>POLUENTES ATMOSFÉRICOS: MÉDIA ANUAL DAS MÁXIMAS CONCENTRAÇÕES</i>	52
10	CONCLUSÕES	54
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55





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

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

MP2,5: Material particulado com diâmetro aerodinâmico de corte de 2,5 micra

MP10: Material particulado com diâmetro aerodinâmico de corte de 10 micra

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

OPM: Optical Particle Monitor

OPS: Organização PanAmericana de Saúde

P: Pressão

PCPV: Programa de Controle de Poluição Veicular

PF: Padrão final

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

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 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	24
Figura 3: Umidades relativas médias mensais registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	24
Figura 4: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	25
Figura 5: Velocidades médias mensais do vento registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	25
Figura 6: Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.	26
Figura 7: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município.	35
Figura 8: As Macrorregiões do Estado do RS.	37
Figura 9: Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado.	38
Figura 10: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.	42
Figura 11: Gráfico do IQAr por Estação de Monitoramento.	44
Figura 12: Número de focos de queimadas registrados no ano de 2024 nos biomas Amazônico, Pantanal e Cerrado.	50
Figura 13: Figuras ilustrando a configuração meteorológica na região do empreendimento em 16/08/2024, 00:00 UTC. A estrela vermelha corresponde a localização da RMPA: a) Análise sinótica de superfície; b) Comportamento do vento no nível de 850 hPa, aproximadamente 1500 m de altitude.	51
Figura 14: Figuras ilustrando a configuração meteorológica na região do empreendimento em 11/09/2024, 12:00 UTC. A estrela vermelha corresponde a localização da RMPA: a) Análise sinótica de superfície; b) Comportamento do vento no nível de 850 hPa, aproximadamente 1500 m de altitude.	52



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.	27
Quadro 4: Princípios de medição específicos para cada poluente.	31
Quadro 5: Critérios de representatividade de dados.	32
Quadro 6: Percentual de dados válidos por poluente por estação em 2024.	33
Quadro 7: Principais fontes dos poluentes atmosféricos.	34
Quadro 8: Frota veicular do RS por tipo em março/2025.	36
Quadro 9: Frota veicular do RS frente ao tipo de combustível utilizado em março/2025.	36
Quadro 10: Estimativa das emissões atmosféricas por fontes móveis no RS (2009).	38
Quadro 11: Padrões de qualidade do ar.	41
Quadro 12: Níveis de poluição do ar para episódios críticos.	41
Quadro 13: Relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde.	43
Quadro 14: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2024.	44
Quadro 15: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2024.	45
Quadro 16: Concentração média anual de O₃ nos últimos 5 anos.	46
Quadro 17: Concentração média anual de CO nos últimos 5 anos.	46
Quadro 18: Concentração média anual de SO₂ nos últimos 5 anos.	47
Quadro 19: Concentração média anual de NO₂ nos últimos 5 anos.	47
Quadro 20: Concentração média anual de MP₁₀ nos últimos 5 anos.	48
Quadro 21: Concentração média anual de MP_{2,5} nos últimos 5 anos.	48
Quadro 22: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2024.	49
Quadro 23: Média anual das máximas concentrações dos poluentes em 2024.	53



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 (MP_{2,5} e MP₁₀) 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 Política Nacional de Qualidade do Ar, instituída pela Lei nº 14.850/2024, visa estabelecer regras gerais para o controle, gestão, avaliação e monitoramento da qualidade do ar no Brasil, apresentando seus princípios, objetivos e instrumentos. Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos, pela gestão da qualidade do ar e pelo controle da poluição.

Também, 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, 491/18 e 506/24 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 N° 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 2024, 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 2024. 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, Uruguai, Cachoeirinha, Santa Cruz do Sul, Bagé, Erechim e Bento Gonçalves, cuja localização pode ser vista no mapa da Figura 1.

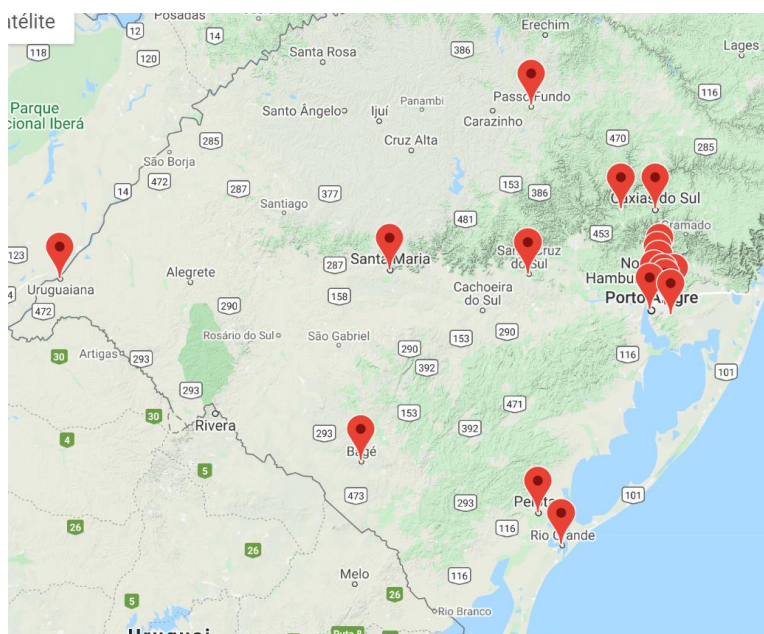


Figura 1: Municípios com mais de 100 mil habitantes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Uso e Ocupação do Solo

Em valores nominais, o PIB do RS em 2024 foi de R\$ 706,82 bilhões, representando um crescimento de 4,8% na comparação com 2023 (Departamento de Economia e Estatística, Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2025). 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 apresenta características 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, devido a industrialização e pela quantidade de veículos automotores, além de outras atividades antrópicas. 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, ao 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 para cada caso, a fim de caracterizar os aspectos de dispersão de poluentes nesta região.

3.5 Condições Climáticas para Dispersão de Poluentes em 2024

3.5.1 Eventos extremos: Inundações

O ano de 2024 foi marcado pelo desastre ambiental das inundações e enxurradas, que teve início no final de abril e se prolongou até o final de maio. O mês de abril parecia ser um mês normal, pois até o dia 25 a estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Porto Alegre (A801) tinha registrado apenas 74mm de precipitação, inclusive, se continuasse nessa tendência seria um mês considerado seco, pois ocorreria menos precipitação do que o esperado para este mês (114 mm). O fenômeno El Niño, que predominava desde maio de 2023 e chegou a ser classificado como “Forte”, já estava em declínio.

O INMET publicou uma nota em 25/04/2024 (<https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-saiba-como-foi-a-atua%C3%A7%C3%A3o-do-fen%C3%B4meno-no-brasil>) decretando o final daquele ciclo do El Niño, indicando que abril seria seu último mês, devendo as águas do Oceano Pacífico entrar em uma fase de neutralidade no mês seguinte. Em um breve resumo relatou que entre 2023 e os primeiros três meses de 2024 houve déficit



de precipitação em várias regiões do Brasil, sobretudo na região do cerrado e pantanal, mas que no norte do Rio Grande do Sul foram registradas fortes anomalias positivas de precipitação, sobretudo em Passo Fundo, *“onde foi registrado um volume total de 2.840 mm, o que corresponde a 922 mm acima da média histórica anual”*.

Então, as condições gerais indicavam que o período mais chuvoso já teria passado, mas, a partir do dia 26 uma frente fria atingiu o Estado, associada a grande advecção (transporte horizontal) de umidade vinda de noroeste (corrente da Amazônia/Pantanal) e a um sistema de bloqueio atmosférico, deu início a um período de várias semanas com acúmulos de precipitação, não só na RMPA, mas em praticamente todo o Estado. Entre os dias 27 e 30 de abril a estação A801 registrou quase 200 mm de precipitação, mas no interior de Estado a situação era pior ainda. A estação de Bento Gonçalves registrou 272,4 mm e Teutônia 113,1 mm no mesmo período, além de outras estações.

No mês de maio a situação só foi agravando, pois, com a condição de bloqueio atmosférico, a oscilação de entre períodos chuvosos e sem precipitação continuou, e em Porto Alegre foram registrados 524 mm nesse mês, enquanto que em Bento Gonçalves 688 mm, e em Teutônia 465,6 mm. A situação não se restringiu somente a essas localidades, dos 497 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, 478 foram de alguma forma atingidos pelas tempestades ocorridas. O resultado disso foi a decretação, pelo governo do Estado do Rio Grande do Sul, da “maior catástrofe climática da história do Estado”.

A discussão sobre as causas dos eventos registrados ainda vai demorar algum tempo para afirmar com segurança quais as determinantes que preponderaram para que o evento ocorresse com essa magnitude. Por enquanto, a maioria dos cientistas e especialistas apontam para a ocorrência do fenômeno El Niño 2023-2024, que chegou a ser classificado como de intensidade “Forte”. Mas olhando para o passado, é possível observar que em anos de El Niño há uma tendência de ocorrer maior precipitação no Estado do Rio Grande do Sul, mas não podemos esquecer que também já ocorreram secas, como por exemplo o de 2004-2005 que acompanhou uma das maiores estiagens do nosso Estado (Berlato, 2024). Por outro lado, também há episódios de La Niña acompanhados de anomalias positivas nas precipitações em nosso Estado, assim como períodos de neutralidade. Outro aspecto é que o fenômeno El Niño estava em estágio de enfraquecimento, já se encaminhando para o período de neutralidade, sendo que em maio/24, período correspondente a maior parte das anomalias positivas na precipitação, a classificação oficial do fenômeno passou a episódio “Neutro”. As tendências



do estudo e conhecimento do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) indicam haver mais de um tipo de El Niño (Canônico e Modoki), além das interações com episódios de aquecimento e resfriamento das águas do Oceano Atlântico Tropical. Resta entender como estas interações ocorrem, decodificá-las a tal ponto que possam ser empregadas em modelos climáticos e até meteorológicos, para que não sejamos reféns de mais episódios como esse, no qual poucas ações preventivas puderam ser efetivadas.

No tocante a qualidade do ar, os episódios ocorridos, com anomalias positivas de precipitação e instabilidade atmosférica em todo o Estado por longos períodos, leva a uma indicação de que a qualidade do ar teve uma tendência a permanecer dentro dos padrões desejados, pois a instabilidade favorece a ascensão das emissões aos níveis mais altos da atmosfera, aumentando assim o volume de ar atmosférico ao qual os poluentes serão diluídos. Por outro lado, as precipitações também têm potencial de manter os níveis saudáveis da concentração de poluentes atmosféricos, pois cumprem seu papel de “lavar” a atmosfera.

3.5.2 Comparação com as Normais Climatológicas

Conforme 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 A801, do INMET, localizada em Porto Alegre. As variáveis Temperatura do Ar, Umidade do Ar, Precipitação Acumulada, Pressão Atmosférica e a Velocidade Média do Vento são comparadas às normais climatológicas desta estação de 1961-1990 e 1991-2020. Por fim, a Radiação Solar Global é comparada com dados monitorados no período 2002-2023, pois, as normais climatológicas do INMET fornecem somente a variável Insolação, que se refere ao número de horas de sol por dia [INMET, 2020].

Na Figura 2 é possível observar que as curvas das temperaturas normais climatológicas de 1961-1990 e de 1991-2020 apresentam comportamentos semelhantes. A comparação da curva de 2022 com estas normais ilustra que, com exceção dos meses janeiro, Maio, julho e dezembro, ocorreram anomalias positivas. Os meses de fevereiro a abril indicam que no verão e princípio de outono a massa de ar tropical predominou no RS, no mês de maio ocorreu uma diminuição, permanecendo semelhante às normais climatológicas devido a presença oscilatória das frentes frias (fenômeno de bloqueio atmosférico) associadas a presença de nuvens e precipitação. Em junho as temperaturas sobem acima das normais, anomalia superior a 2,5°C, pela ainda persistente influência da massa de ar tropical, desta vez



com menor precipitação e nebulosidade. Nos meses de setembro a novembro comportamento semelhante aconteceu. Nos demais meses apresentou anomalias ligeiramente negativas.

A Figura 3 ilustra o comportamento da umidade relativa do ar, onde pode ser observado que a curva das médias mensais de 2024 esteve comportamento bem próximo das normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020, com exceção dos meses de abril e maio, que esteve acima destas normais. Esse comportamento corresponde ao período de ocorrência das enormes anomalias positivas que culminaram nas inundações acima descritas.

A precipitação tem por característica a alta variabilidade, mesmo nas médias mensais, não sendo diferente no ano de 2024, o que é comprovado na comparação com as médias climatológicas. A Figura 4 apresenta o comportamento das precipitações acumuladas mensais ocorridas no ano de 2024 e as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020. As normais, mesmo considerando a grande variabilidade do comportamento das precipitações, apresentam um padrão e tendência semelhantes, mas a curva do ano de 2024 comporta-se bastante sinuosa, demonstrando alta variabilidade no decorrer dos meses, onde os bimestres fevereiro-março, julho-agosto e outubro-novembro apresentaram anomalias negativas bastante consideráveis (aproximadamente -20%, -50% e -40%, respectivamente); enquanto que nos meses de janeiro, abril, maio, junho, setembro e dezembro ocorreram anomalias positivas, principalmente no período abril-maio-junho (inundações), quando precipitou aproximadamente 300% acima do esperado para o período. Foi observado que, no mês de maio, em 18 dias ocorreram precipitações igual ou maior do que 1 mm, representando o dobro do esperado. O resultado é que, apesar dos períodos de pouca precipitação, o acumulado anual chegou a 2098,2 mm, aproximadamente 50% acima do esperado.

Na Figura 5 é possível observar que as curvas das normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2020 da velocidade média mensal apresentam boa correlação nos meses mais frios (abril-agosto), enquanto que a primeira apresenta ventos mais fortes no verão e primavera. Em 2024, as velocidades médias do vento estiveram em torno 20-40 % abaixo das normais climatológicas nos meses mais quentes, e em torno de 10-30% abaixo nos meses mais frios. Esse comportamento aparentemente é uma tendência climática, pois como pode ser observado, a normal climatológica mais antiga (1961-1990) apresenta velocidades do vento maiores que as normais mais recentes (1991-2020), e esta tendência continua ocorrendo nos últimos anos, como demonstra o comportamento da curva 2024, a exemplo do que vem sendo observado nos últimos anos (ver relatórios dos anos anteriores). Esta tendência pode



indicar que as condições atmosféricas para dispersão de poluentes podem estar piorando com o passar dos anos no Rio Grande do Sul.

A Figura 6 apresenta as normais climatológicas das pressões atmosféricas de 1961-1990 e 1991-2020 e das pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2024. As normais climatológicas 1991-2020 apresentam boa correlação, mas seus valores apresentam 2-3 hPa acima da primeira durante todos os meses. O comportamento da curva de 2024 esteve mais próximo das normais climatológicas de 1990-2020, exceto nos meses de junho, julho e setembro, quando oscilou bastante. Nos meses de junho e setembro com anomalias negativas entre 2,5-5,0 hPa, enquanto que em julho a anomalia foi positiva, acima inclusive das normais 1961-1990 (que se apresentam superiores durante quase todo o ano). Considerando que as temperaturas também estiveram mais altas em junho e setembro, assim como as precipitações, a possível explicação é a presença de áreas de baixas pressões acompanhadas de advecção de massa de ar tropical (quente e úmida) sobre o Estado. No mês de julho o efeito foi o contrário, massas de ar polar conseguiram avançar e predominar sobre o RS, o que explica as pressões atmosféricas mais altas, acompanhadas de temperaturas e precipitações mais baixas.

Os dados de radiação solar global de 2024 foram comparados à média do período 2002-2023, em kJ/m^2 , haja vista que as normais climatológicas se referem apenas a variável ‘Insolação’, que corresponde ao número de horas com incidência de radiação solar na superfície. Considerando isso, é possível afirmar que a radiação solar no ano de 2024 um pouco abaixo da média anual do período 2002-2023, com outubro sendo o único mês a apresentar maior incidência de radiação solar. Os meses de abril e maio (que coincidiram com as inundações) apresentam anomalia bastante pronunciada em relação à média 2002-2023, muito provavelmente devido à grande presença de nebulosidade durante esse período.

De uma maneira geral, apontam-se os meses de fevereiro, março, julho e outubro como os que apresentaram as piores condições para a dispersão de poluentes atmosféricos, devido à baixa umidade, menor nebulosidade, precipitação e ventos fracos.



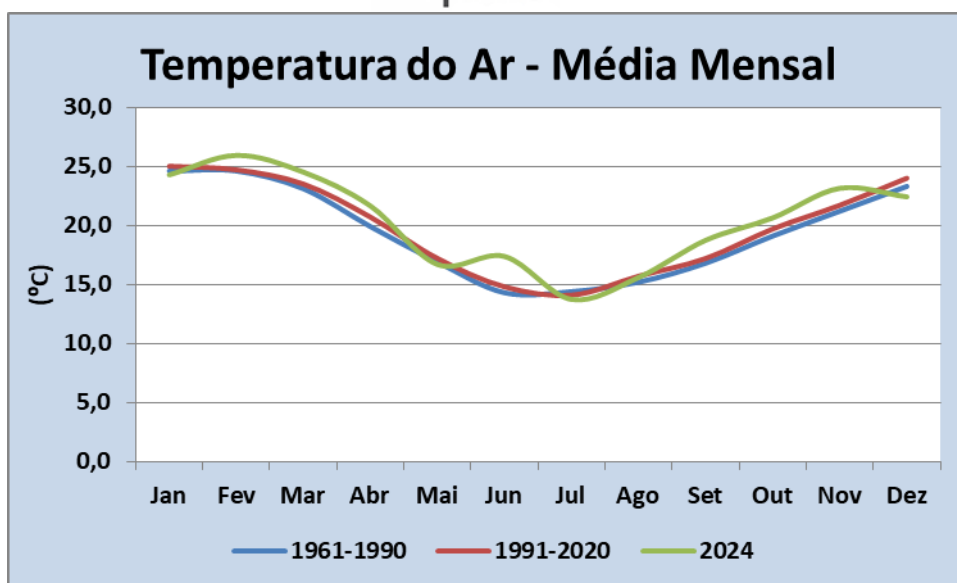


Figura 2: Temperaturas médias mensais registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.

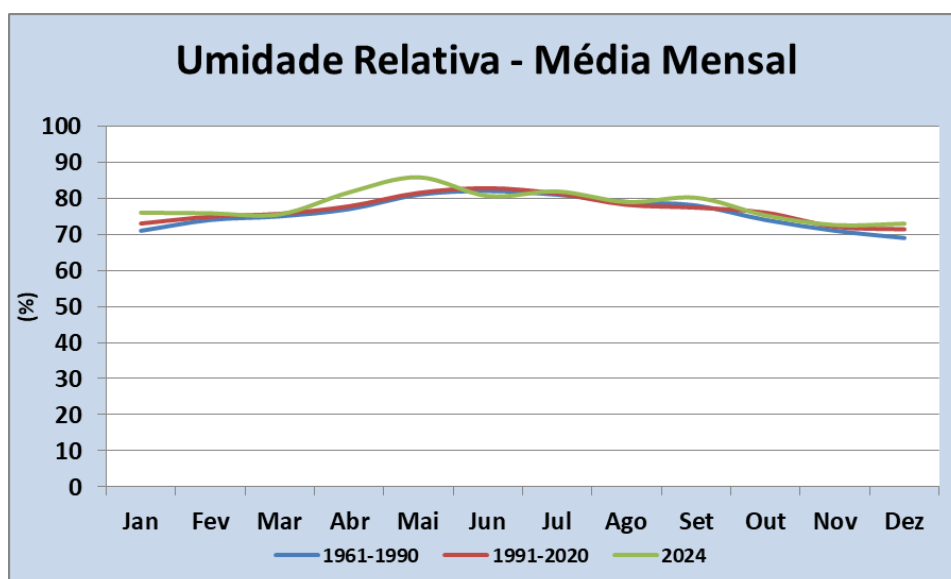


Figura 3: Umidades relativas médias mensais registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.



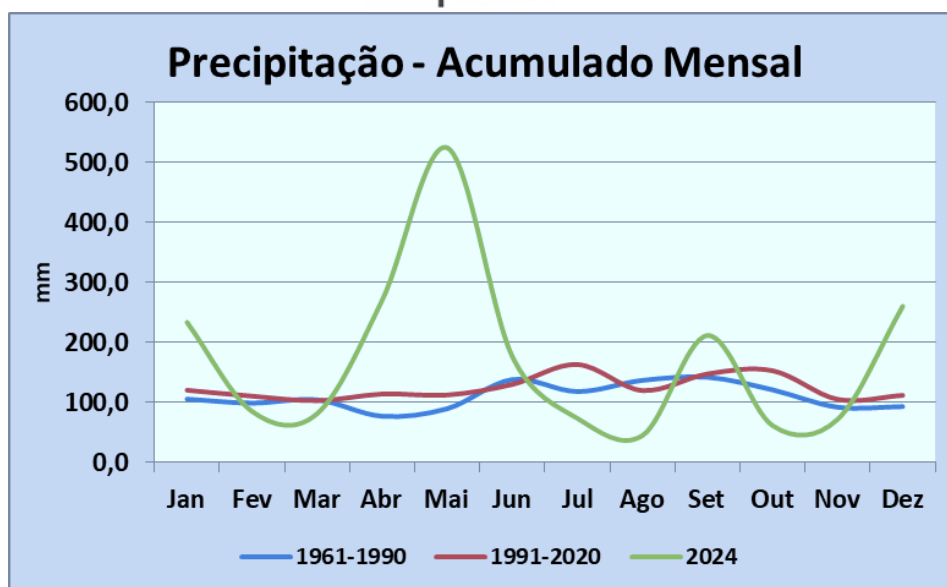


Figura 4: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.

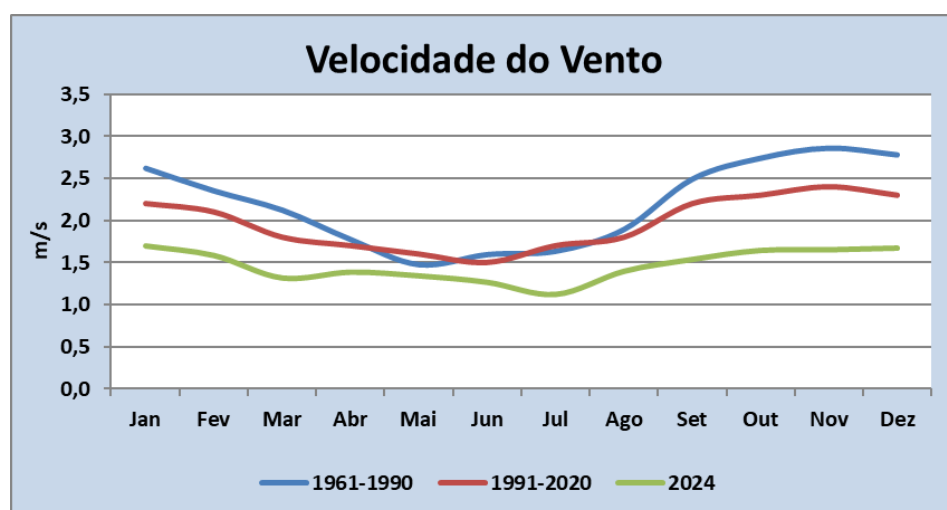


Figura 5: Velocidades médias mensais do vento registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

Fonte: Adaptado do INMET.



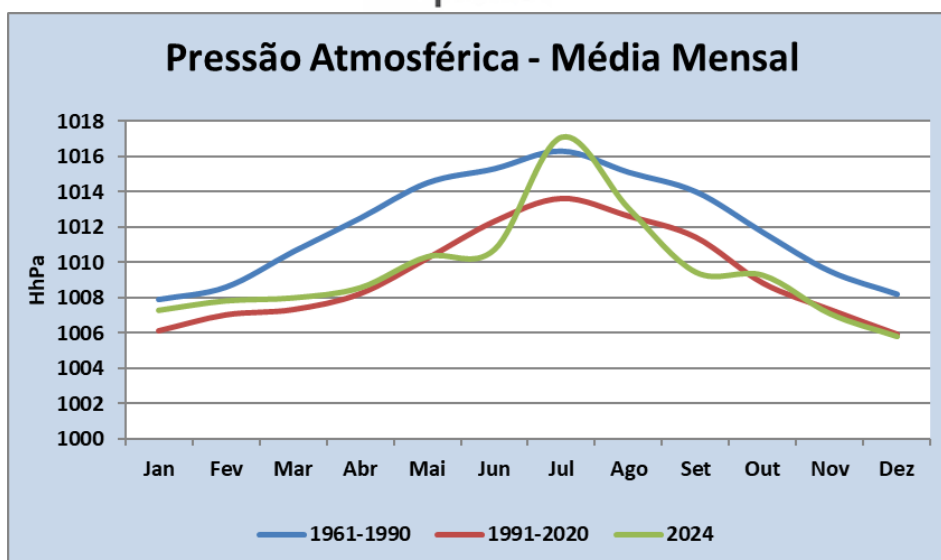


Figura 6: Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2024 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020.

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 sete estações de monitoramento em operação no ano de 2024. 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	MP10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Rio Grande	Porto/FURG ⁵	MP10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , MP2,5, PTS	P, T, UR, RG, DV e VV
Triunfo	Polo Petroquímico ²	MP10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , MP2,5	---
Esteio	Parque de Exposição ¹	MP10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs, TRS	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Gravataí	Jardim Timbaúva ³	MP10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Guaíba	Parque 35 ⁴	MP10, SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , PTS, TRS	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Porto Alegre	CETE ⁶	SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , MP2,5	---

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;

6- Estação contratada pela FEPAM.

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/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/Porto/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/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/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).

4.1.7 Estação Porto Alegre/CETE

Estação contratada pela FEPAM, localizada próxima à região central de Porto Alegre, com influência urbana.

4.2 Poluentes Atmosféricos Monitorados

A rede de monitoramento automática da FEPAM contempla a medição dos principais poluentes constantes na Resolução do CONAMA 506/2024: material particulado (MP10), material particulado fino (MP2,5), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃). O chumbo, fumaça e partículas totais em suspensão também são poluentes com padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 506, 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,

Av. Borges de Medeiros, 261 • Porto Alegre, RS • 90020-021



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 Material Particulado (MP10 e MP2,5)

Material particulado 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 MP10 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]. Já as partículas MP2,5 apresentam diâmetros iguais ou menores a 2,5 µm e são pequenas o suficiente para penetrar profundamente nos pulmões e até entrar na corrente sanguínea, tendo sua exposição de curto ou longo prazo associado a uma série de problemas de saúde, como mortalidade prematura, aumento de internações hospitalares por causas cardíacas ou pulmonares, bronquite aguda e crônica, ataques de asma, etc.

4.2.4 Dióxido de enxofre (SO₂)

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 SO₂ estão irritações as mucosas dos olhos, nariz, garganta e trato respiratório, causando tosse e agravando doenças respiratórias [SANTOS, 2019; TORRES, 2020]. O SO₂ presente na atmosfera corrobora para a formação da chuva ácida [CETESB, 2021].



4.2.5 Ozônio (O₃)

O ozônio é um gás que apresenta instabilidade, é muito reativo e fortemente oxidante. O O₃ é produzido durante o *smog* fotoquímico, que é caracterizado por uma série de reações que ocorrem entre o oxigênio e o NO₂, catalisadas pela luz do sol [SOUZA, 2023]. Os hidrocarbonetos voláteis também são citados como precursores da formação de O₃ na atmosfera. O O₃ 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 O₃ 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 O₃ 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
Material Particulado – MP10 e MP2,5	Radiação Beta / sensor OPM ou 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

Av. Borges de Medeiros, 261 • Porto Alegre, RS • 90020-021



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;
- MP10 – médias aritméticas de 24 horas;
- MP2,5 – 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	3/4 das medidas válidas na hora
Diária	2/3 das médias horárias válidas no dia
Anual	≥ 50% das médias válidas em cada quadrimestre (por estação do ano)

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 Percentual de Dados Válidos em 2024

O Quadro 6 apresenta o percentual de dados válidos obtidos para cada poluente em cada estação de monitoramento para o ano de 2024, 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 2024.

ESTAÇÃO	Poluente	Outono (%)	Inverno (%)	Primavera (%)	Verão (%)	Anual (%)
Canoas/PU	CO	49,4	2,6	0,1	86,5	34,7
	O3	65,2	98,1	67,1	97,8	82,1
	NO2	65,3	98,6	67,0	97,9	82,2
	SO2	65,3	97,8	67,1	98,0	82,0
	MP10	0,0	29,3	65,5	11,2	26,5
Esteio/PE	CO	58,8	96,9	64,4	98,5	79,7
	O3	64,9	96,9	64,4	98,5	81,2
	NO2	54,3	89,4	64,6	94,0	75,6
	SO2	64,8	97,3	64,6	98,7	81,4
	MP10	54,3	88,9	59,3	90,1	73,1
Gravatá/JT	CO	69,3	95,6	74,2	69,3	77,1
	O3	52,7	88,7	73,1	61,4	69,0
	NO2	69,3	96,1	75,9	69,3	77,7
	SO2	69,4	96,1	65,4	67,2	74,5
	MP10	0,0	20,4	60,8	11,2	23,1
Triunfo/Polo Petroquímico	CO	ND	ND	ND	ND	59,5
	O3	ND	ND	ND	ND	36,3
	NO2	ND	ND	ND	ND	29,2
	SO2	ND	ND	ND	ND	60,9
	MP10	ND	ND	ND	ND	67,0
	MP2,5	ND	ND	ND	ND	67,2
Porto Alegre/CETE	CO	0,0	0,0	38,8	8,4	11,8
	O3	0,0	0,0	48,4	9,5	14,5
	NO2	0,0	0,0	43,1	8,1	12,8
	SO2	0,0	0,0	36,6	9,6	11,6
	MP10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	MP2,5	0,0	0,0	44,8	9,5	13,6
Guaíba/Parque 35	CO	81,3	93,9	87,5	11,2	68,5
	O3	95,8	97,9	87,5	76,4	89,4
	NO2	95,2	85,4	72,6	91,9	86,3
	SO2	93,4	81,9	73,7	64,6	78,4
	MP10	94,8	98,5	86,8	91,9	93,0
Rio Grande/FURG	CO	64,3	0,0	0,0	68,9	33,3
	O3	61,7	0,0	0,0	70,9	33,1
	NO2	64,4	0,0	0,0	71,2	33,9
	SO2	63,8	0,0	0,0	69,8	33,4
	MP10	57,8	0,0	0,0	69,8	31,9
	MP2,5	18,5	0,0	0,0	0,0	4,6

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
Material Particulado (MP10 e MP2,5)	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 7 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.

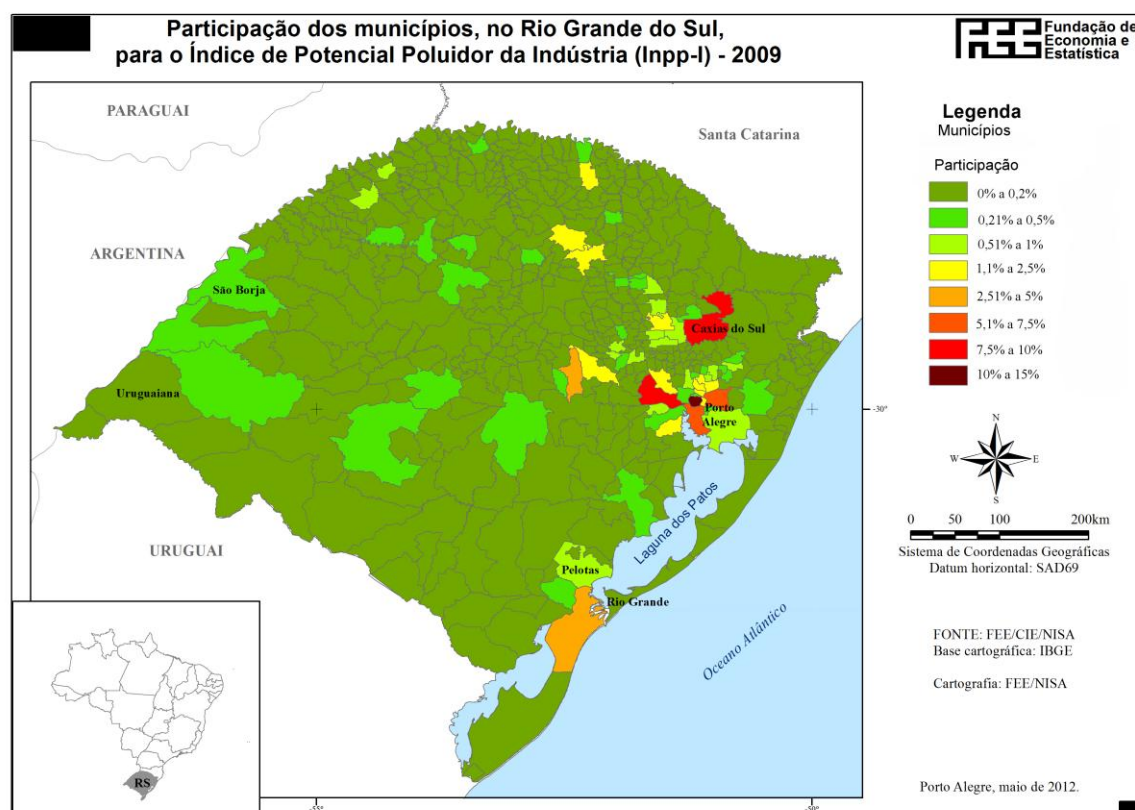


Figura 7: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município.

Fonte: FEE, 2002-2009.

6.2 Fontes Móveis

O Quadro 8 mostra a frota veicular no RS em março de 2025 [DETRAN, 2025]. 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 março/2025.

Frota	Carga	Coleção	Competição	Especial	Misto	Passageiro	Tração	Total
Automóvel	269	5.721	65	1.319	2.198	4.601.805	0	4.611.377
Motocicleta, motoneta e ciclomotor	14.879	545	386	16	0	1.313.700	0	1.329.526
Caminhão e Caminhão Trator	244.440	95	0	8.995	0	2	83.857	337.389
Reboques	332.116	6	1	11.785	0	157	27	344.092
Ônibus e Microônibus	107	6	1	3.684	1	58.404	0	62.203
Tratores	453	1	3	298	1	6	9.032	9.794
Utilitários, Caminhonetes e Camionetas	404.628	545	13	291.862	489.956	2.631	1	1.189.636
Outros	1.164	38	12	10.503	9	825	0	12.551
Total	998.056	6.957	481	328.462	492.165	5.977.530	92.917	7.896.568

Fonte: DETRAN-RS.

Quadro 9: Frota veicular do RS frente ao tipo de combustível utilizado em março/2025.

Combustível	Automóvel	Motocicleta, motoneta e ciclomotor	Caminhão e Caminhão Trator	Reboques	Ônibus e Microônibus	Tratores	Utilitários, Caminhonetes e Camionetas	Outros	Total
Álcool	151.842	98	60	0	9	1	13.221	28	165.259
Álcool/Gás Natural Veicular	1.506	0	0	0	0	0	165	0	1.671
Álcool/Gasolina	2.335.702	275.142	0	0	1.368	0	506.231	399	3.118.842
Diesel	3.364	4	335.172	0	60.003	9.612	341.783	9.731	759.669
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	4.715	537	22	0	15	1	1.455	13	6.758
Elétrico/Fonte Interna	86	511	44	0	9	1	27	3	681
Gás Metano	4	0	0	0	0	69	1	4	78
Gás Natural Veicular	2	0	273	0	3	0	3	0	281
Gasogênio	6	2	1	0	0	25	3	1	38
Gasolina	2.057.686	1.053.230	1.743	25	737	57	294.838	2.097	3.410.413
Gasolina/Álcool/Gás Natural Veicular	30.731	0	0	0	11	0	5.494	2	36.238
Gasolina/Eletrico	2.404	1	0	0	0	0	7.069	0	9.474
Gasolina/Gás Natural Veicular	20.419	0	52	0	48	1	13.216	15	33.751
Sem Combustível	3	1	0	344.067	0	1	2	256	344.330
Vide Campo Observação	0	0	0	0	0	26	0	2	28
ANO FABRIC	4.611.377	1.329.526	337.389	344.092	62.203	9.794	1.189.636	12.551	7.896.568

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 8 [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.

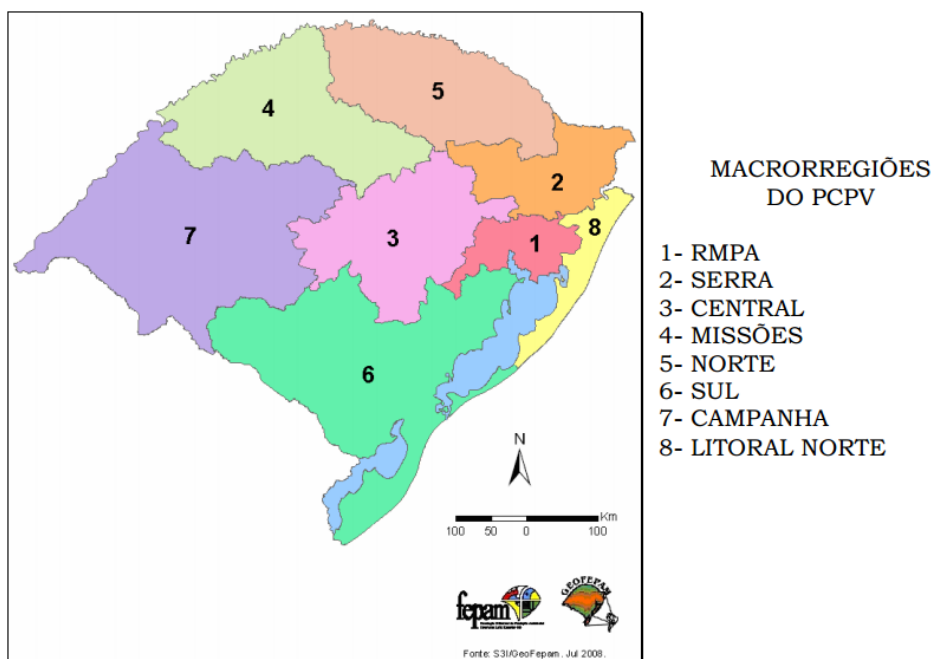


Figura 8: As Macrorregiões do Estado do RS.

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 9.



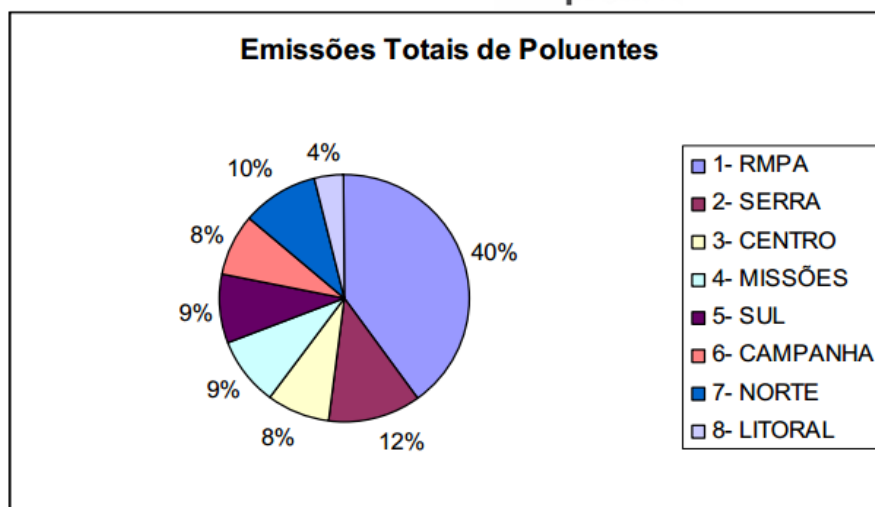


Figura 9: Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado.

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 506 de 05/07/2024. 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 Padrões de Qualidade do Ar definidos na Resolução CONAMA 506 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, sendo que o PI-2 entrou em vigor em primeiro de janeiro de 2025.

Para os poluentes Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo foi adotado o padrão de qualidade do ar final (PF).

Os poluentes atmosféricos estabelecidos pela Resolução CONAMA 506 são apresentados no Quadro 11:



Quadro 11: Padrões de qualidade do ar.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PF	
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppm
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	45	-
	Anual ¹	40	35	30	20	15	-
Material Particulado - MP2,5	24 horas	60	50	37	25	15	-
	Anual ¹	20	17	15	10	5	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	40	40	40	-
	Anual ¹	40	30	20	20	20	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	10	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	45	-
	Anual ¹	40	35	30	20	15	-
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 - máxima média horária obtida no dia							
3 - máxima média móvel obtida no dia							
4 - média geométrica anual							
5 - medido nas partículas totais em suspensão							

Fonte: Resolução CONAMA nº 506/2024.

A Resolução CONAMA 491 estabelece 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 (µg/m³)	ALERTA (µg/m³)	EMERGÊNCIA (µg/m³)
Material Particulado MP10	24 h	250	420	500
Material Particulado MP2,5	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: “Bom”, “Moderado”, “Ruim”, “Muito Ruim” e “Péssimo”, que são respectivamente associadas às cores: verde, amarelo, laranja, vermelho e roxo.

O IQAr proposto pela FEPAM é obtido através de uma função linear segmentada, na qual os pontos de inflexão baseiam-se nos valores estabelecidos pelo Guia Técnico para Qualidade do Ar do Ministério do Meio Ambiente publicado em 2021 e atualizado em 2024.

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 Figura 10 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	MP10 (µg/m³) 24h	MP2,5 (µg/m³) 24h	O ₃ (µg/m³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m³) 1h	SO ₂ (µg/m³) 24h
BOA	0-40	Seguro à Saúde	0 - 45	0 - 15	0-100	0 - 9	0 - 200	0 - 40
MODERADA	41-80	Tolerável	>45 - 100	>15 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>40 - 50
RUIM	81-120	Insalubre	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>50 - 125
MUITO RUIM	121-200	Muito Insalubre	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>125 - 800
PÉSSIMA	> 200	Perigoso	> 250	> 125	> 200	> 15	> 1130	> 800

A qualidade (IQAr) classificada como BOA atende aos padrões finais (PF) da Resolução Conama Nº 506, de 5 de julho de 2024.

Figura 10: 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.

EFEITOS NA SAÚDE			
Qualidade	Índice	Níveis de Cautela sobre a Saúde	Efeitos
BOA	0-40	Seguro à Saúde	---
MODERADA	41-80	Tolerável	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população em geral não é afetada.
RUIM	81-120	Insalubre	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
MUITO RUIM	121-200	Muito Insalubre	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
PÉSSIMA	>200	Perigoso	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: FEPAM.



9 RESULTADOS

9.1 Índice de Qualidade do Ar em 2024

O Quadro 14 mostra o número de dias no ano de 2024 em que cada estação de monitoramento atingiu determinada categoria do IQAr.

Quadro 14: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2024.

2024 (TOTAL)	Canoas	Rio Grande	Esteio	Triunfo	Porto Alegre	Gravataí	Guaíba	TOTAL (%)
BOM	298	124	282	239	50	281	307	91,49
MODERADO	2	0	14	91	1	2	34	8,33
RUIM	0	0	0	3	0	0	0	0,17
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0	0	0,00
PÉSSIMO	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Total de dias com IQAr avaliado	300	124	296	333	51	283	341	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o IQAr e considerando o somatório das sete estações atualmente em operação na rede Ar do Sul, observa-se que em 2024 tivemos 91,49% dos dias com qualidade do ar boa, 8,33% com qualidade moderado e 0,17% com qualidade ruim. Os dias com qualidade ruim assim como a maior parte dos dias com qualidade moderado foram observados em Triunfo e estão atrelados ao poluente MP2,5 em função das fumaças das queimas do centro do país que atingiu o Estado em agosto e setembro de 2024.

A Figura 11 mostra o gráfico do IQAr, por percentual de dias, de cada estação de monitoramento.

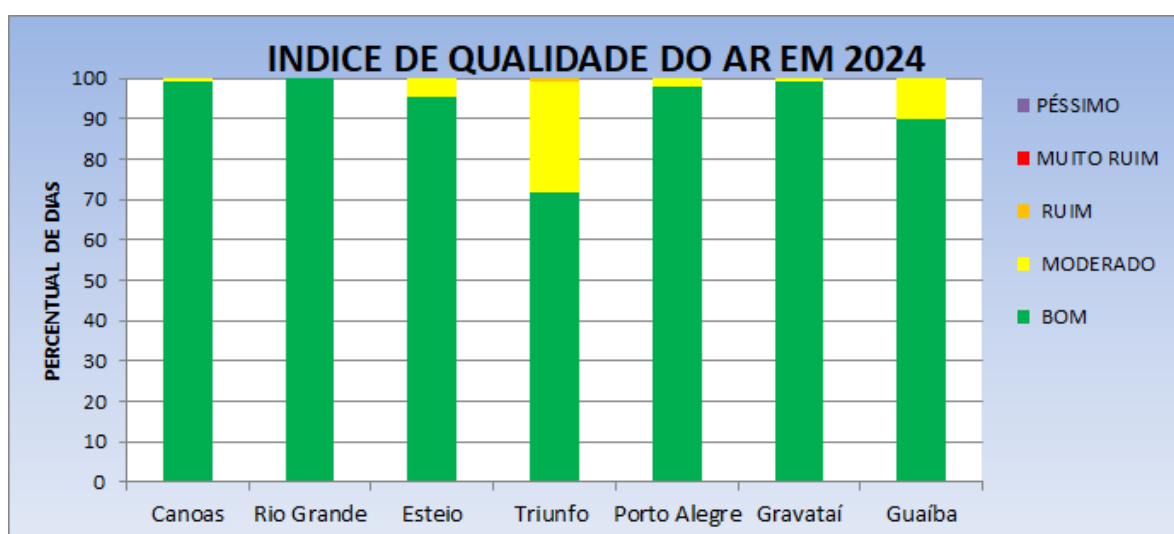


Figura 11: Gráfico do IQAr por Estação de Monitoramento.

Fonte: Elaborado pelo autor.



9.2 Dados do Monitoramento em 2024

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 apresentadas, para o ano de 2024, as médias anuais de concentração dos poluentes ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP10 e MP2,5).

Quadro 15: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2024.

ESTAÇÃO	NO ₂	O ₃	CO	MP10	MP2,5	SO ₂
	Média Horária Anual			Média Diária Anual		
	µg/m³		ppm	µg/m³		
Canoas/PU	7,0	26,7	0,5	19,3	SD	6,7
Esteio/PE	27,0	23,9	2,4	20,1	SD	7,7
Gravataí/JT	8,1	16,8	0,2	16,3	SD	0,8
Porto Alegre/CETE	15,9	27,9	0,7	SD	5,1	4,4
Triunfo/Polo Petroquímico	11,6	21,9	0,2	20,7	13,9	3,7
Rio Grande/Porto-FURG	9,8	25,1	0,6	17,3	5,9	6,6
Guaíba/Parque 35	7,8	26,5	0,6	25,2	SD	4,7
Padrão de Qualidade (Conama 506/2024)	60	---	---	40	20	40

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

SD = Sem dados

Fonte: Elaborado pelo autor.



Os dados mostram que a concentração dos poluentes MP10, NO₂ e SO₂ se mantiveram abaixo dos padrões de qualidade anuais estabelecidos, conforme Resolução CONAMA 506/24. Não são estabelecidos padrões de qualidade anuais para O₃ e CO.

9.2.2 Poluentes Atmosféricos: últimos cinco anos

9.2.2.1 – Ozônio (O₃)

Quadro 16: Concentração média anual de O₃ nos últimos 5 anos.

O ₃ - MÉDIA HORÁRIA ANUAL – µg/m ³					
ESTAÇÃO	2020	2021	2022	2023	2024
Canoas/PU	24,4	28,4	22,0	29,1	26,7
Esteio/PE	12,7	21,9	21,3	21,6	23,9
Gravataí/JT	35,5	33,6	38,4	20,2	16,8
Porto Alegre/CETE	---	---	---	---	27,9
Triunfo/Polo Petroquímico	29	26,3	15,6	12	21,9
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	42,6	33,6	25,1
Guaíba/Parque 35	31,3	27,8	24,9	29,5	26,5
MÉDIA GERAL*	30,4	27,9	23,1	26,8	23,5

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que não houve alteração significativa dos teores médios de O₃ 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	2020	2021	2022	2023	2024
Canoas/PU	0,2	---	2,0	1,0	0,5
Esteio/PE	0,7	1,6	2,5	2,6	2,4
Gravataí/JT	0,2	0,2	---	0,2	0,2
Porto Alegre /CETE	---	---	---	---	0,7
Triunfo/Polo Petroquímico	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	1,4	1,7	0,6
Guaíba/Parque 35	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8
MÉDIA GERAL*	0,4	0,7	0,5	1,1	0,9

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Av. Borges de Medeiros, 261 • Porto Alegre, RS • 90020-021



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	2020	2021	2022	2023	2024
Canoas/PU	7,8	15,2	12,5	8,2	6,7
Esteio/PE	11,2	17,2	15,8	11,8	7,7
Gravataí/JT	1,3	1,5	---	1,4	0,8
Porto Alegre /CETE	---	---	---	---	4,4
Triunfo/Polo Petroquímico	1,4	1,4	1,3	1,3	1,1
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	13,8	18,6	6,6
Guaíba/Parque 35	1,3	1,5	1,8	2,3	4,7
MÉDIA GERAL*	3,5	8,8	15,8	7,3	4,2

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

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	2020	2021	2022	2023	2024
Canoas/PU	13,8	11,4	8,2	7,4	7,0
Esteio/PE	12,8	17,5	16,3	20,6	27,0
Gravataí/JT	5,6	10,9	3,6	9,2	8,1
Porto Alegre /CETE	---	---	---	---	15,9
Triunfo/Polo Petroquímico	---	9,2	6,5	8,1	11,6
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	11,1	6,2	9,8
Guaíba/Parque 35	12,8	12,7	12,6	10,5	7,8
MÉDIA GERAL *	10,7	11,1	6,5	8,3	12,5

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

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 – Material Particulado (MP10)

Quadro 20: Concentração média anual de MP10 nos últimos 5 anos.

MP10 – MÉDIA DIÁRIA ANUAL – µg/m ³					
ESTAÇÃO	2020	2021	2022	2023	2024
Canoas/PU	16,5	16,6	19,4	19,1	19,4
Esteio/PE	19,8	20,3	17,8	20,2	20,1
Gravatai/JT	16,5	16,4	16,4	14,8	16,3
Porto Alegre /CETE	---	---	---	---	SD
Triunfo/Polo Petroquímico	33,5	20,0	13,6	14,6	20,7
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	31,4	17,0	17,3
Guaíba/Parque 35	25,9	25,7	25,1	26,2	25,1
MÉDIA GERAL *	19,6	19,8	21,5	21,1	22,0

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

SD = sem dados

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de MP10 se mantiveram praticamente constantes aos longos dos últimos 5 anos de monitoramento.

9.2.2.6 – Material Particulado (MP2,5)

Quadro 21: Concentração média anual de MP2,5 nos últimos 5 anos.

MP2,5 – MÉDIA DIÁRIA ANUAL – µg/m ³					
ESTAÇÃO	2020	2021	2022	2023	2024
Canoas/PU	---	---	---	---	---
Esteio/PE	---	---	---	---	---
Gravatai/JT	---	---	---	---	---
Porto Alegre /CETE	---	---	---	---	5,1
Triunfo/Polo Petroquímico	---	---	---	---	13,9
Rio Grande/Porto-FURG	---	---	---	---	5,9
Guaíba/Parque 35	---	---	---	---	---
MÉDIA GERAL *	---	---	---	---	13,9

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

Fonte: Elaborado pelo autor.



9.2.3 Poluentes Atmosféricos: concentração máxima anual

O Quadro 22 apresenta a concentração máxima anual obtida para cada poluente na respectiva Estação de Monitoramento.

Quadro 22: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2024.

ESTAÇÃO	CO	O ₃	NO ₂	MP10	MP2,5	SO ₂
	Máxima 8h móvel anual		Máxima horária anual	Máxima diária anual		
	ppm	µg/m³				
Canoas/PU	3,4	78,7	18,3	57,1	SD	15,5
Esteio/PE	8,6	45,8	120,2	80,0	SD	26,0
Gravataí/JT	0,9	73,0	86,1	53,9	SD	3,1
Triunfo/Polo Petroquímico	1,6	63,0	69,1	66,1	66,9	26,1
Porto Alegre/CETE	1,7	71,5	102,0	SD	15,6	10,6
Rio Grande/Porto-FURG	1,1	58,0	40,5	33,5	18,8	11,2
Guaíba/Parque 35	2,9	128,4	94,2	93,5	SD	31,1
Padrão de Qualidade P1 (Conama 506/2024)	9	140	260	120	60	125

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

SD = Sem dados

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme os dados apresentados, não houve registro de ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar em 2024 para os poluentes CO, O₃, NO₂, MP10 e SO₂ nas estações de monitoramento. Somente foram registrados ultrapassagens do padrão de qualidade P1 para o poluente MP2,5 na estação de Triunfo no Polo Petroquímico em agosto, dias 15 e 16, e em setembro, no dia 11. Tais episódios estão atrelados a fumaça que atingiu o Estado oriunda de incêndios florestais observados no Paraguai, norte da Argentina e na Amazônia, trazida pela circulação dos ventos em elevada altitude. Tipicamente o poluente MP2,5, por ser muito pequeno, permanece em suspensão no ar por longos períodos e consegue atingir grandes distâncias a partir da fonte de emissão. Com a precipitação gradual do poluente, se observou inúmeros dias com qualidade do ar moderado e os 3 dias com qualidade do ar ruim. Nas demais estações não foi registrada qualidade do ar ruim, pois não dispunham de equipamento para medir MP2,5.

9.2.4 Estudo dos casos de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar

Ocorreram duas situações que culminaram em episódios de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar, uma em agosto, que se estendeu por dois dias seguidos, e outra em setembro, cujas análises são apresentadas a seguir:



- Episódio de 15-16 de agosto/2024

A pesar de este episódio ter ocorrido no transcorrer de dois dias seguidos, é apresentada aqui uma única análise, pois a situação sinótica/regional se arrastou e levou ao comportamento similar da qualidade do ar nestes dias. Por isso é estudado o comportamento da atmosfera somente em um deles, dia 16 de setembro de 2024, às 00:00 UTC.

A Figura 12 ilustra a quantidade de queimadas registradas no ano de 2024 em três biomas: Amazônia, Pantanal e Cerrado (INPE). É possível observar que os meses de agosto e setembro apresentam um pico de constatação de focos de incêndio. Segundo o monitoramento realizado pelo INPE, somando os três biomas, em agosto houve 61297 focos e em setembro 73470.

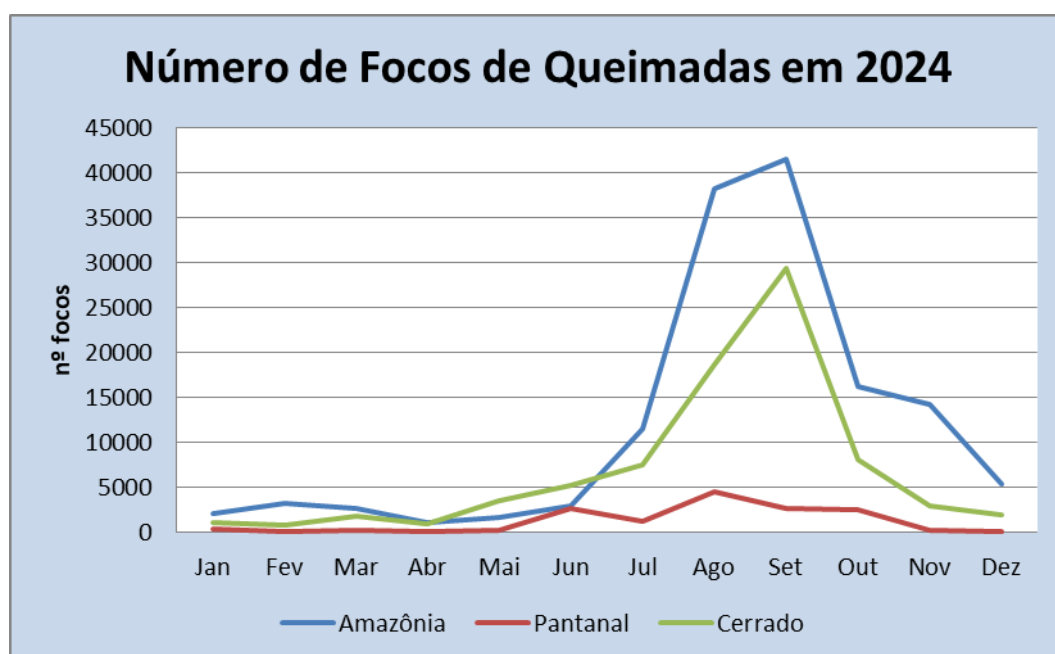


Figura 12: Número de focos de queimadas registrados no ano de 2024 nos biomas Amazônico, Pantanal e Cerrado.

Fonte: Adaptado do INPE

A Figura 13a ilustra a carta sinótica de superfície do dia 16/08/2024, das 00:00 UTC, onde é possível observar um centro de baixa pressão atmosférica, com 1014 hPa, a sudeste do Uruguai e uma linha de cavado que se estende em direção a noroeste, cruzando o RS em direção ao Paraguai e Bolívia. A Figura 13b ilustra o escoamento do vento em forma de vetores (setas) e isopletas (linhas de mesmo valor da velocidade do vento) no nível de 850 hPa (aproximadamente 1500 metros de altitude), é possível observar a formação de um Jato de Baixos Níveis (JBN), sobre a Bolívia e Paraguai, estendendo-se até o RS, com ventos de



até 25 nós (~40 km/h). É possível concluir que o JBN ofereceu meios para o transporte de fumaça e material particulado gerado nas queimadas da região do Amazônia, Pantanal e Cerrado Matogrossense sobre o Rio Grande do Sul, aumentando as concentrações do poluente $PM_{2,5}$ no Estado.

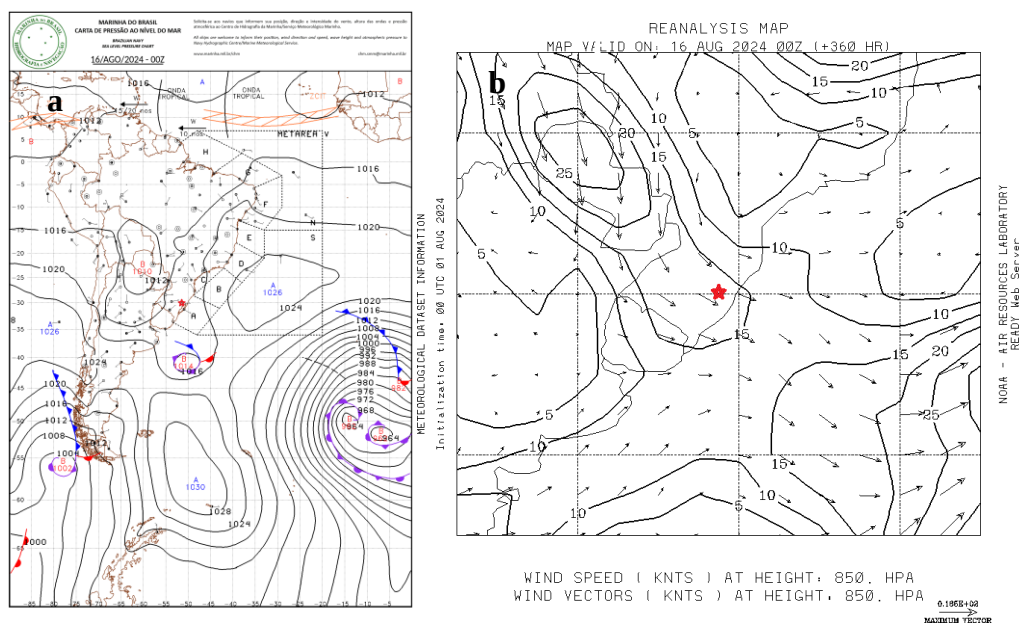


Figura 13: Figuras ilustrando a configuração meteorológica na região do empreendimento em 16/08/2024, 00:00 UTC. A estrela vermelha corresponde a localização da RMPA: a) Análise sinótica de superfície; b) Comportamento do vento no nível de 850 hPa, aproximadamente 1500 m de altitude.

Fonte: Adaptado de CHM e Ready NOAA.

- Episódio de 11 de setembro/2024

A situação é muito semelhante com o episódio de 15 e 16/08/2024, A Figura 14a ilustra que há uma baixa pressão, com 1009 hPa, no este-sudeste do Uruguai, uma linha de cavado que se estende do RS até o Paraguai, uma frente fria paralela e ao sul deste cavado. Na figura 14b é possível observar novamente o JBN sobre Bolívia e Paraguai até o RS, com velocidades de até 35 nós (~56 km/h), que deve ter transportado fumaça e material particulado sobre o Estado do rio Grande do Sul.

É possível identificar que estes dois casos são típicos de imissão, tendo em vista que a maior parte da concentração de poluentes ($PM_{2,5}$) não foi originado no RS, mas que as situações meteorológicas, com a presença de centros de alta e baixas pressões, linhas de cavado e frentes frias, conseguem criar um corredor por onde esse poluente é transportado por

milhares de quilômetros. No caso de agosto, houve o agravante de anomalias negativas na precipitação em agosto. No caso de setembro, apesar da ocorrência de precipitações (26,6 mm) entre os dias 04 e 08/09/2024, o material particulado advectado sobre o Estado nos dias seguintes foram o suficiente para elevar as concentrações de $PM_{2,5}$ acima do padrão desejado.

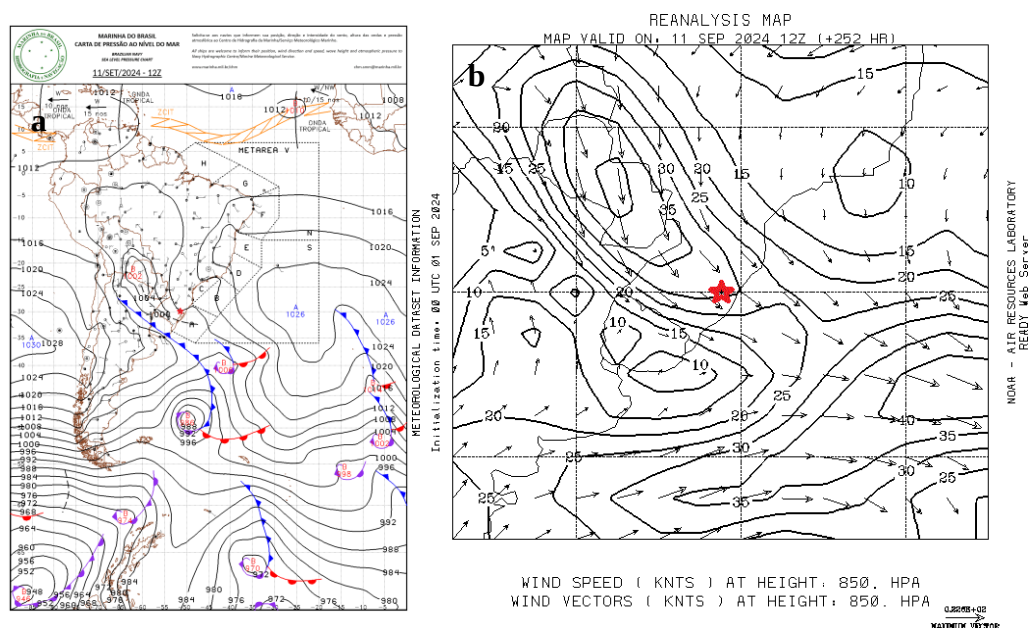


Figura 14: Figuras ilustrando a configuração meteorológica na região do empreendimento em 11/09/2024, 12:00 UTC. A estrela vermelha corresponde a localização da RMPA: a) Análise sinótica de superfície; b) Comportamento do vento no nível de 850 hPa, aproximadamente 1500 m de altitude.

Fonte: Adaptação de CHM e Ready NOAA.

9.2.5 Poluentes Atmosféricos: média anual das máximas concentrações

O Quadro 23 apresenta a média anual das máximas concentrações obtida para cada poluente na respectiva Estação de Monitoramento em 2024. 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 23: Média anual das máximas concentrações dos poluentes em 2024.

ESTAÇÃO	CO	O ₃	NO ₂	MP10	MP2,5	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	0,7	34,3	8,4	40,8	SD	9,5
Esteio/PE	2,8	27,9	47,0	46,8	SD	11,9
Gravataí/JT	0,2	25,6	19,0	31,4	SD	1,1
Porto Alegre / CETE	0,9	38,8	28,1	SD	12,6	7,9
Triunfo/Polo Petroquímico	0,3	33,2	23,8	39,6	36,4	5,1
Rio Grande/Porto-FURG	0,6	33,6	15,3	27,8	13,4	8,9
Guaíba/Parque 35	0,8	37,6	20,5	57,3	SD	13,0

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

SD = Sem dados

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 2024. 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 2024 pela rede Ar do Sul em sete estações de monitoramento localizadas nas cidades de Canoas, Esteio, Gravataí, Porto Alegre, Rio Grande, Triunfo e Guaíba mostraram que não houve ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 506/2024 para os poluentes SO_2 , CO, MP_{10} , NO_2 e O_3 . Somente foram registrados ultrapassagens do padrão de qualidade P1 para o poluente $\text{MP}_{2,5}$ na estação de Triunfo no Polo Petroquímico em agosto, dias 15 e 16, e em setembro, no dia 11. Tais episódios estão atrelados a fumaça que atingiu o Estado oriunda de incêndios florestais observados no Paraguai, norte da Argentina e na Amazônia, trazida pela circulação dos ventos em elevada altitude.

Em termos de concentrações médias anuais, observou-se que em 2024 não houve alteração significativa das concentrações destes poluentes no ambiente em relação aos últimos quatro anos anteriores.

Os dados coletados em 2024 para as sete estações de monitoramento em termos de IQAr, mostraram que tivemos 91,49% dos dias com qualidade do ar boa, 8,33% com qualidade moderado e 0,17% com qualidade ruim. Os dias com qualidade ruim assim como a maior parte dos dias com qualidade moderado foram observados em Triunfo e estão atrelados ao poluente $\text{MP}_{2,5}$ em função das fumaças das queimas do centro do país que atingiu o Estado em agosto e setembro de 2024.





11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berlato, M.A., El Niño Oscilação Sul [Livro eletrônico] : clima, vegetação e agricultura / Moacir Antônio Berlato, Gilberto Rocca da Cunha, Denise Cybis Fontana. – Passo Fundo, RS: Ed. Dos Autores, 2024. PDF, ISBN 978-65-01-02988-7.

BRASIL. Lei nº 14.850, de 2 de maio de 2024. Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar. Diário Oficial da União (DOU), Brasília, DF, 3 maio 2024.

_____. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre a proteção do meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

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.



_____. Resolução nº 506, de 05 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de julho de 2024.

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://www.estado.rs.gov.br/com-recuperacao-da-agropecuaria-estado-registra-aumento-de-4-9-no-pib-em-2024>>. Acesso em 30 maio 2025.

_____. 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 30 maio 2025.

CHM – Centro de Hidrografia da Marinha, <https://www.marinha.mil.br/chm/cartassinoticas>, acessado em 08/07/2025.

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 30 maio 2025.

_____. **Índice de Qualidade do Ar (IQAr).** Disponível em <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/iqar.asp>>. Acesso em 30 maio 2025.



_____. **Monitoramento da Qualidade do Ar.** Disponível em http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/monitor_ar.asp. Acesso em 30 maio 2025.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2023.** Porto Alegre, 2024. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorios.asp>. Acesso em 30 maio 2025.

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 PESQUISAS ESPACIAIS, INPE. **Programa de Queimadas.** Disponível em < <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/> >. Acesso em 08/07/2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 08/07/2025.

_____. National Weather Service/Climate Prediction Center/ Monitoring & Data Index : https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/MD_index.php , Acessado em 01/07/2025.

_____. **READY/NOAA.** <https://www.ready.noaa.gov/READYamet.php>; acessado em 08/07/2025.

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.ucs.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 Pregolato; 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-rs/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 (NOx)**. 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 NOx 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.

