



**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 2021**

RELATÓRIO TÉCNICO

Porto Alegre/RS
Março de 2022





FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

Marjorie Kauffmann

DIRETORIA TÉCNICA

Renato das Chagas e Silva

DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL

Glaucus Vinicius Biasetto Ribeiro

DIVISÃO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Márcio D'Avila Vargas

Equipe Técnica da Rede Ar do Sul

Estevão Segalla

Felipe Norte Pereira

Flávio Wiegand

Márcio D'Avila Vargas

Elaboração Técnica

Flávio Wiegand

Márcio D'Avila Vargas

2022





SUMÁRIO

GLOSSÁRIO	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
1 OBJETIVO	8
2 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS	9
2.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA DISPERSÃO DE POLUENTES NA RMPA EM 2021	9
2.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR	13
2.3 POLUENTES MONITORADOS	15
2.3.1 <i>CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL</i>	16
2.3.2 <i>CONCENTRAÇÃO NOS ÚLTIMOS CINCO ANOS</i>	16
2.3.3 <i>CONCENTRAÇÃO MÁXIMA ANUAL</i>	19
2.3.4 <i>PERCENTUAL DE DADOS VÁLIDOS</i>	24
3 CONCLUSÕES	25
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26





GLOSSÁRIO

%: percentual

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

μm : micrômetro

°C: Grau Celsius

CO: Monóxido de carbono

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DSA: Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

E: Leste

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

GOES-16: Geostationary Operational Environmental Satellite

h: Hora

hPa: Hectopascal

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IQAr: Índice de qualidade do ar

JT: Jardim Timbaúva

L: Local

Log: Logaritmo

m/s: Metro por segundo

mm: Milímetro

NO₂: Dióxido de nitrogênio

NO_x: Óxidos de nitrogênio

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

O₃: Ozônio

OMS: Organização Mundial da Saúde

P: Pressão

PE: Parque de Exposição

PI10: Partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico menor que 10 micra

ppm: Partes por milhão





PU: Parque Universitário

RG: Radiação solar global

RMPA: Região Metropolitana de Porto Alegre

RS: Rio Grande do Sul

S: Sul

SE: Sudeste

SO₂: Dióxido de enxofre

T: Temperatura

UR: Umidade relativa do ar

UTC: Universal Time Coordinated

UVA: Radiação ultravioleta-A

VE: Vila Ezequiel

VV: Velocidade do vento

W: Oeste

W/m²: Watt por metro quadrado





LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Temperaturas médias mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010. 11
- Figura 2:** Umidades relativas médias mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010. 11
- Figura 3:** Precipitações acumuladas mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010. 12
- Figura 4:** Velocidades médias mensais do vento registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010. 12
- Figura 5:** Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010. 13
- Figura 6:** Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente. 14
- Figura 7:** Imagem do Satélite GOES-16 do dia 23/05/2021, às 09:00 L (12:00 UTC), no espectro do infravermelho, com realce de temperatura para salientar topos de nuvens (Ch_13). A estrela em vermelho indica a localização da estação Canoas/PU. 21
- Figura 8:** Análise de superfície do dia 25/08/2016 indicando isóbaras e vetores de vento na superfície: a) 09:00 L (12:00 UTC) b) 15:00 L (18:00 UTC). A estrela em vermelho indica a localização da estação Canoas/PU. 22
- Figura 9:** Diagrama SkewT-LogP do dia 23/05/2021, às 09:00 L (12:00 UTC), de Porto Alegre. 22
- Figura 10:** Simulação de pluma de dispersão de uma massa hipotética de poluentes atmosféricos a partir da REFAP para o dia 23/05/2021 às 09:00 L (12:00 UTC). A cruz vermelha é o ponto de emissão e a estrela vermelha o ponto onde está a estação Canoas/PU. 23





LISTA DE TABELAS

Tabela 1: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2021.....	15
Tabela 2: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2021.....	16
Tabela 3: Concentração média anual de O ₃ nos últimos 5 anos.....	16
Tabela 4: Concentração média anual de CO nos últimos 5 anos.....	17
Tabela 5: Concentração média anual de SO ₂ nos últimos 5 anos.....	17
Tabela 6: Concentração média anual de NO ₂ nos últimos 5 anos.....	18
Tabela 7: Concentração média anual de PI10 nos últimos 5 anos.....	18
Tabela 8: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2021.....	19
Tabela 9: Percentual de dados válidos por poluente por estação em 2021.....	24





1 OBJETIVO

Divulgar os dados do monitoramento automático da qualidade do ar realizado pela FEPAM através da rede Ar do Sul para o ano de 2021.





2 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

2.1 Condições Climáticas para Dispersão de Poluentes na RMPA em 2021

Devido à localização das estações de monitoramento da qualidade do ar ser na RMPA, as análises meteorológica e climática são baseadas nas observações registradas pela estação meteorológica A-801, do INMET, localizada em Porto Alegre. As variáveis Temperatura do Ar, Umidade do Ar e Precipitação Acumulada são comparadas às normais climatológicas desta estação de 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010. A Velocidade Média do Vento e a Pressão Atmosférica somente com as duas últimas normais, devido a não disponibilização da primeira. Por fim, a Radiação Solar Global é somente comparada com a média do período 2002-2020.

O ano de 2021 apresentou temperaturas médias mensais próximas das médias climatológicas a maior parte do ano. Na Figura 1 é possível observar este comportamento, as curvas das temperaturas normais climatológicas de 1931-1960, 1961-1990 e de 1981-2010 apresentam comportamentos semelhantes, enquanto que a curva de 2021 apresenta três meses (abril, agosto e setembro) em que as temperaturas estiveram acima das médias climatológicas, entre, com anomalias positivas entre 1°C e 2°C, e no mês de maio a anomalia foi negativa, em torno de 1,5°C. Como resultado a temperatura média anual ficou em torno de 0,5°C acima das médias climatológicas.

A média mensal da umidade relativa do ar esteve abaixo das médias climatológicas a maior parte do ano. A Figura 2 ilustra o comportamento da umidade relativa do ar, médias mensais, onde pode ser observado que as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010 apresentam-se semelhantes durante o ano inteiro, enquanto que a curva das médias mensais de 2021 acompanhou estas curvas em janeiro, junho, novembro e dezembro, apresentando valores inferiores às normais climatológicas em fevereiro, abril, maio, julho e outubro e superiores em março, agosto e setembro.

As precipitações acumuladas mensais apresentaram um comportamento oscilatório durante o ano de 2021, o que é comprovado na comparação com as médias climatológicas. A Figura 3 apresenta o comportamento das precipitações acumuladas mensais ocorridas no ano de 2021 e as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010, que apresentam





uma boa correlação entre si. O ano de 2021 começou com o mês de janeiro apresentando precipitações ligeiramente acima das médias climatológicas, sendo seguido por três meses (fevereiro, março e abril) de um significativo déficit hídrico; nos meses seguintes as precipitações apresentaram um padrão altamente oscilatório, quando de maio a junho as precipitações estiveram acima da média (anomalia positiva de 40 a 50 mm em cada mês), mas em julho voltou a chover pouco (somente um terço do esperado), sendo seguido por outros dois meses (agosto e setembro) com precipitações acima das médias climatológicas, mas em outubro voltou a precipitar somente a metade do esperado; nos últimos dois meses, novembro e dezembro, o padrão oscilatório foi encerrado e as precipitações estiveram próximas às médias climatológicas. Como resultado, no ano de 2021 a precipitação acumulada anual esteve abaixo da normal climatológica, com valores pouco acima de 1200 mm.

A velocidade média mensal do vento em superfície no ano de 2021 esteve inferior às normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010 o ano inteiro. Na Figura 4 é possível observar que as curvas das normais climatológicas de 1961-1990 e 1981-2010 apresentam boa correlação, enquanto que em 2021 as velocidades médias do vento estiveram em torno 30 % abaixo das normais climatológicas nos primeiro semestre, e em torno de 40% abaixo no segundo semestre.

A Figura 5 apresenta as normais climatológicas das pressões atmosféricas de 1961-1990 e 1981-2010 e das pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2021. As normais climatológicas 1981-2010 comportaram-se com valores 2-3 hPa abaixo das normais climatológicas de 1961-1990. O comportamento das médias mensais em 2021 esteve mais próximo das normais climatológicas de 1981-2010, com exceção nos meses de março, abril, e novembro, quando a pressão atmosférica média esteve entre as normais de 1961-1990 e 1981-2010.

Os dados de radiação solar global de 2021 foram comparados à média do período 2002-2020, em W/m^2 , haja vista que no Atlas de Normais Climatológicas exista apenas a variável 'Insolação', que corresponde ao número de horas com incidência de radiação solar na superfície. Considerando isso, a radiação solar no ano de 2021 esteve muito próxima da média mensal do período 2002-2020 o ano inteiro, com exceção dos meses de abril, maio, julho e outubro, quando esteve acima desta média.



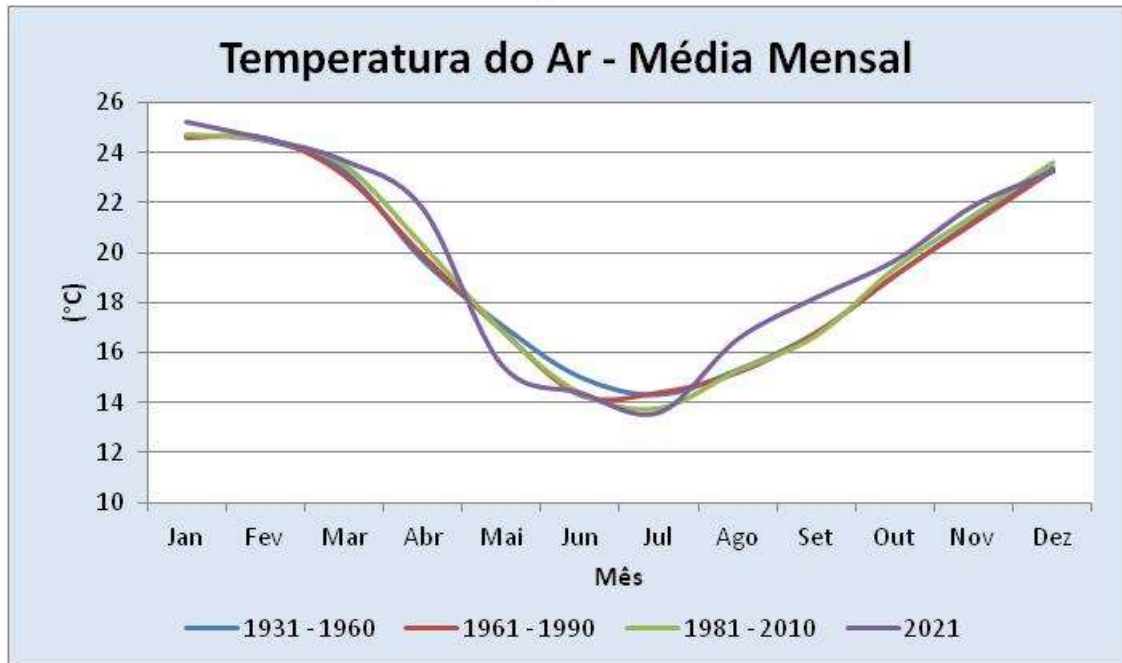


Figura 1: Temperaturas médias mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: Adaptado do INMET.

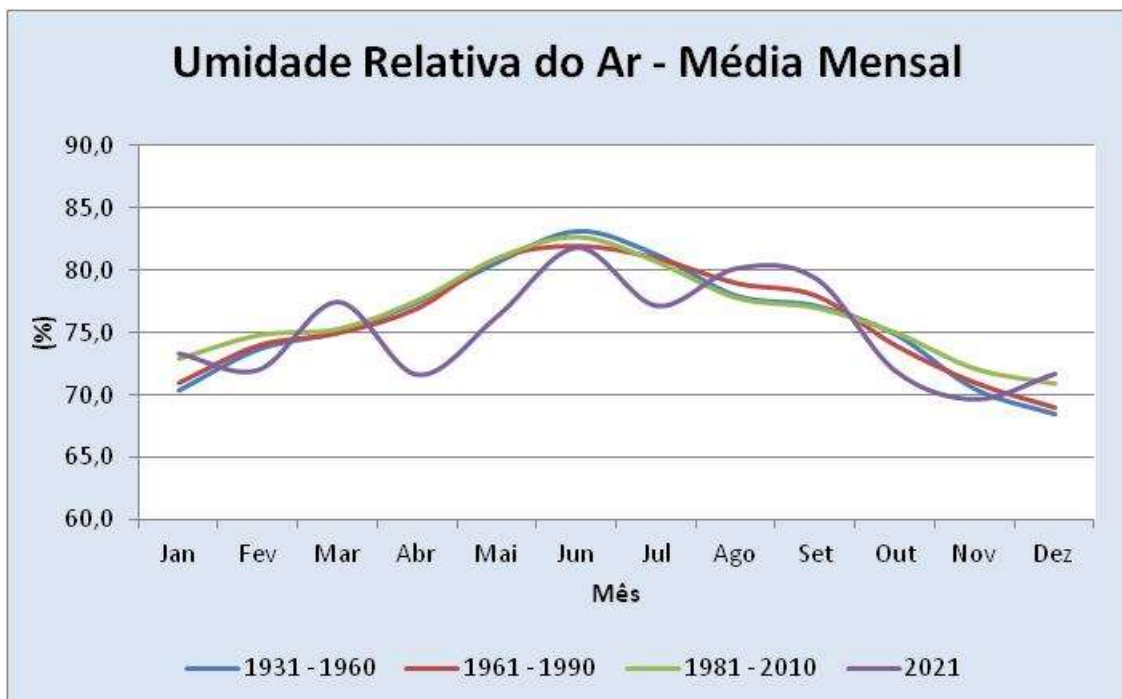


Figura 2: Umidades relativas médias mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: Adaptado do INMET.



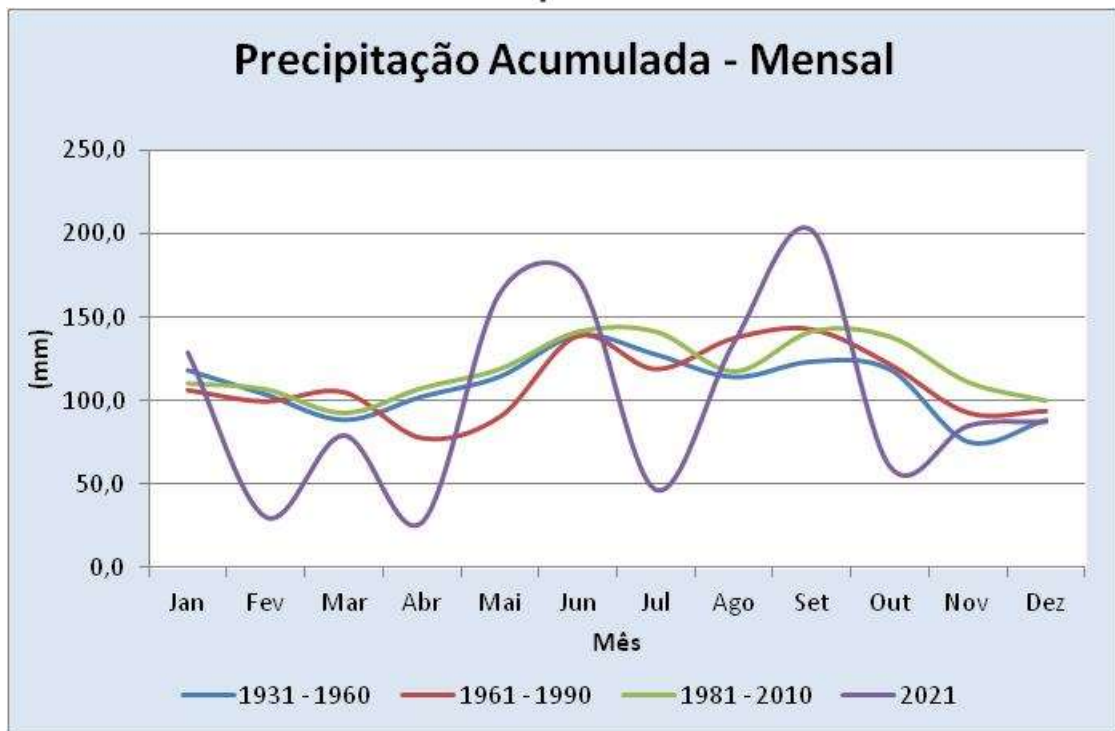


Figura 3: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: Adaptado do INMET.

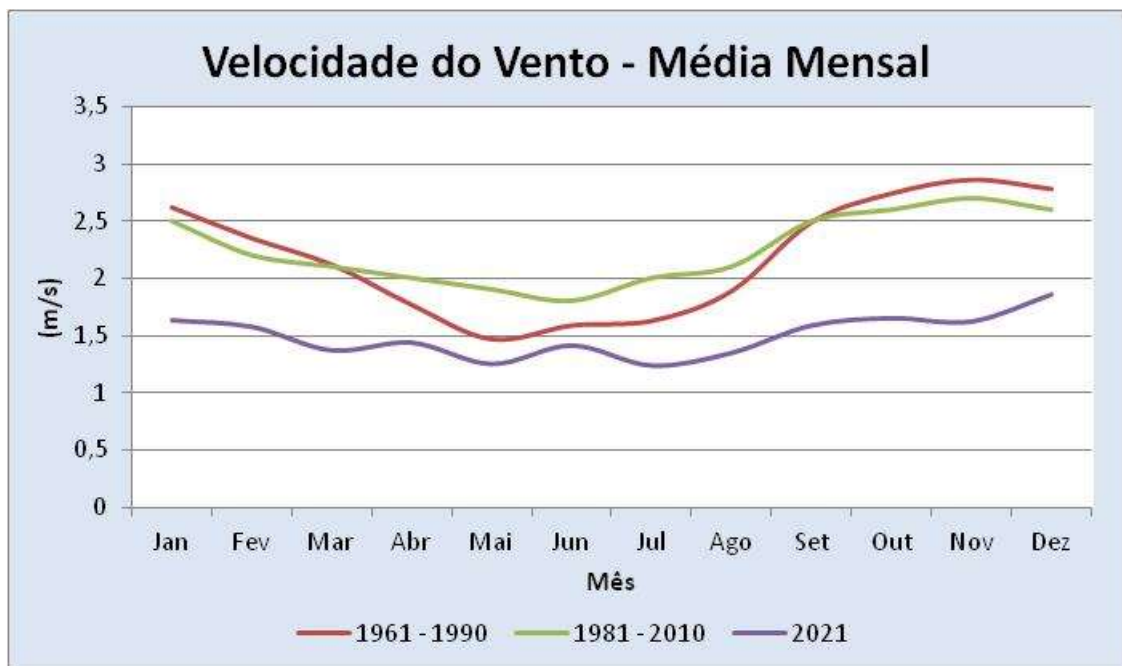


Figura 4: Velocidades médias mensais do vento registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: Adaptado do INMET.



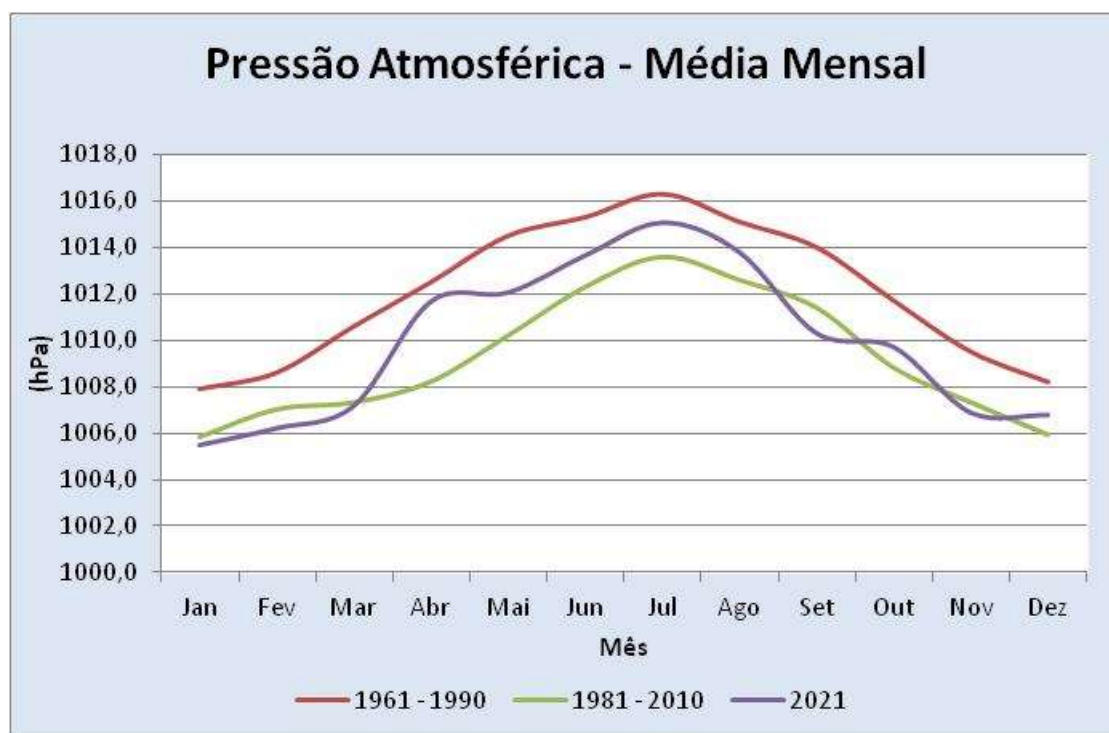


Figura 5: Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2021 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: Adaptado do INMET.

2.2 Índice de Qualidade do Ar

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

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





Inaláveis (PI10), Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio, Ozônio e Monóxido de Carbono.

O IQAr é divulgado diariamente para cada estação da Rede de Monitoramento Automática da Qualidade do Ar, considerando-se o índice mais elevado dos poluentes monitorados, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso. A ultrapassagem dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar identifica qualidade INADEQUADA (IQAr maior que 100). A qualidade MÁ (IQAr maior que 199) indica a ultrapassagem do Nível de Atenção, a qualidade PÉSSIMA indica a ultrapassagem do Nível de Alerta (IQAr maior que 299) e a qualidade CRÍTICA, a ultrapassagem do Nível de Emergência (IQAr maior que 399). A Figura 6 apresenta as faixas de equivalências de concentrações e índices de qualidade respectivos para os poluentes monitorados pela rede automática.

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

Os índices com classificação BOA ou REGULAR, atendem aos Padrões de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA 491 de 19/11/2018.

Figura 6: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.
Fonte: FEPAM.

A Tabela 1 mostra o número de dias no ano de 2021 em que cada estação de monitoramento atingiu determinada categoria do IQAr.





Tabela 1: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2021.

2021 (TOTAL)	Canoas	Esteio	Triunfo	Gravataí	Guaíba	TOTAL (%)
Nº dias IQAr BOM	323	259	334	333	343	91,55
Nº dias IQAr REGULAR	40	81	3	3	19	8,40
Nº dias IQAr INADEQUADO	1	0	0	0	0	0,06
Nº dias IQAr MÁ	0	0	0	0	0	0,00
Nº dias IQAr PÉSSIMO	0	0	0	0	0	0,00
Nº dias IQAr CRÍTICO	0	0	0	0	0	0,00
Total de dias com IQAr avaliado	364	340	337	336	362	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o IQAr obtido e considerando o somatório das cinco estações atualmente em operação na rede Ar do Sul, observa-se que em 2021 tivemos 91,55% dos dias com qualidade do ar boa, 8,40% com qualidade regular e 0,06% com qualidade inadequada. O registro de qualidade inadequada ocorreu na cidade de Canoas para o poluente SO₂. Não houve registros de qualidade “má” ou pior no ano de 2021.

2.3 Poluentes Monitorados

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 Tabela 9 apresentada no item 2.3.4 deste relatório, mas foram mantidos para registro e avaliação de tendência.





2.3.1 Concentração média anual

Na Tabela 2 são apresentadas, para o ano de 2021, as médias anuais de concentração dos poluentes ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e partículas inaláveis (PI10).

Tabela 2: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2021.

ESTAÇÃO	NO ₂	O ₃	CO	PI10	SO ₂
	Média Horária Anual			Média Diária Anual	
	µg/m ³		ppm	µg/m ³	
Canoas/PU	11,4	28,4	---	16,6	15,2
Esteio/PE	17,5	21,9	1,6	20,3	17,2
Gravataí/JT	10,9	33,6	0,2	16,4	1,5
Triunfo/Polo Petroquímico	9,2	26,3	0,1	20,0	1,4
Guaíba/Parque 35	12,7	27,8	0,5	25,7	1,5
MÉDIA GERAL*	11,1	27,6	0,7	19,8	8,8
Padrão de Qualidade (Conama 491/2018)	60	---	---	40	40

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados mostram que a concentração dos poluentes PI10, NO₂ e SO₂ se mantiveram abaixo dos padrões de qualidade anual estabelecidos, conforme Resolução CONAMA 491/18. Não são estabelecidos padrões de qualidade anual para O₃ e CO.

2.3.2 Concentração nos últimos cinco anos

Ozônio (O₃)

Tabela 3: Concentração média anual de O₃ nos últimos 5 anos.

O ₃ - MÉDIA HORÁRIA ANUAL – µg/m ³					
ESTAÇÃO	2017	2018	2019	2020	2021
Canoas/PU	18,9	11,2	26,1	24,4	28,4
Esteio/VE e Esteio/PE **	14,5	12,0	12,5	12,7	21,9
Gravataí/JT	23,4	30,1	23,3	35,5	33,6
Triunfo/Polo Petroquímico	16,5	29,3	28,6	29,0	26,3
Guaíba/Parque 35	32,1	31,1	30,8	31,3	27,8
MÉDIA GERAL*	22,2	24,4	27,2	30,1	27,6

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

** Nos anos de 2017 a 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. Em 2020 e 2021 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Os dados mostram que não houve alteração significativa dos teores médios de O₃ no ambiente nos últimos 5 anos.

Monóxido de Carbono (CO)

Tabela 4: Concentração média anual de CO nos últimos 5 anos.

CO - MÉDIA HORÁRIA ANUAL - ppm					
ESTAÇÃO	2017	2018	2019	2020	2021
Canoas/PU	0,3	0,3	0,3	0,2	---
Esteio/VE e Esteio/PE **	0,5	0,5	0,2	0,7	1,6
Gravataí/JT	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2
Triunfo/Polo Petroquímico	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1
Guaíba/Parque 35	0,5	0,4	1,9	0,5	0,5
MÉDIA GERAL*	0,4	0,4	0,7	0,4	0,7

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

** Nos anos de 2017 a 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. Em 2020 e 2021 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados indicam que não houve alteração significativa dos teores médios de CO no ambiente nos últimos 5 anos. O valor médio anual mais elevado obtido na estação de Esteio pode ser decorrente da proximidade da estação de monitoramento com a BR116.

Dióxido de Enxofre (SO₂)

Tabela 5: Concentração média anual de SO₂ nos últimos 5 anos.

SO ₂ – MÉDIA DIÁRIA ANUAL - µg/m ³					
ESTAÇÃO	2017	2018	2019	2020	2021
Canoas/PU	7,6	12,3	16,4	7,8	15,2
Esteio/VE e Esteio/PE **	17,1	9,2	19,8	11,2	17,2
Gravataí/JT	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5
Triunfo/Polo Petroquímico	1,4	1,5	1,3	1,4	1,4
Guaíba/Parque 35	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5
MÉDIA GERAL*	5,7	6,0	6,3	3,5	8,8

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

** Nos anos de 2017 a 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. Em 2020 e 2021 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.





A concentração média anual de SO₂ ao longo dos últimos 5 anos se manteve baixa sem alteração significativa. As estações de Esteio e Canoas tipicamente têm apresentado concentrações de SO₂ maiores que as demais estações, provavelmente em função da influência das atividades industriais do seu entorno.

Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Tabela 6: Concentração média anual de NO₂ nos últimos 5 anos.

NO ₂ – MÉDIA HORÁRIA ANUAL - µg/m ³					
ESTAÇÃO	2017	2018	2019	2020	2021
Canoas/PU	11,7	15,8	12,9	13,8	11,4
Esteio/VE e Esteio/PE **	35,8	16,1	14,9	12,8	17,5
Gravataí/JT	5,9	11,6	8,8	5,6	10,9
Triunfo/Polo Petroquímico	6,8	4,0	3,4	---	9,2
Guaíba/Parque 35	10,1	9,2	9,9	12,8	12,7
MÉDIA GERAL *	19,2	13,2	10,5	10,7	11,1

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

** Nos anos de 2017 a 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. Em 2020 e 2021 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados mostram que o poluente NO₂ não tem apresentado alterações significativas de sua concentração no ambiente nos últimos anos.

Partículas Inaláveis (PI10)

Tabela 7: Concentração média anual de PI10 nos últimos 5 anos.

PI10 – MÉDIA DIÁRIA ANUAL – µg/m ³					
ESTAÇÃO	2017	2018	2019	2020	2021
Canoas/PU	24,1	21,0	21,9	16,5	16,6
Esteio/VE e Esteio/PE **	22,7	16,9	16,0	19,8	20,3
Gravataí/JT	17,4	15,3	16,9	16,5	16,4
Triunfo/Polo Petroquímico	13,2	11,7	20,4	33,5	20,0
Guaíba/Parque 35	35,3	25,2	26,9	25,9	25,7
MÉDIA GERAL*	22,5	19,6	21,9	19,6	19,8

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

** Nos anos de 2017 a 2019 a estação estava localizada em Esteio/VE. Em 2020 e 2021 em Esteio/PE.

Fonte: Elaborado pelo autor.



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

2.3.3 Concentração máxima anual

A Tabela 8 apresenta a concentração máxima anual obtida para cada poluente na respectiva Estação de Monitoramento.

Tabela 8: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2021.

ESTAÇÃO	CO	O ₃	NO ₂	PI10	SO ₂
	Máxima 8h móvel anual		Máxima horária anual	Máxima diária anual	
	ppm	µg/m ³			
Canoas/PU	---	133,7	104,7	66,2	206,3
Esteio/PE	6,4	121,6	56,7	74,8	87,0
Gravataí/JT	2,8	106,3	140,0	59,5	7,0
Triunfo/Polo Petroquímico	0,6	129,6	130,5	42,8	4,0
Guaíba/Parque 35	6,2	101,2	162,2	100,6	6,7
Padrão de Qualidade (Conama 491/2018)	9	140	260	120	125

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme os dados apresentados se observa que os poluentes PI10, O₃, NO₂ e CO não apresentaram em 2021 nenhum registro de ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar em nenhuma das estações de monitoramento. Somente o poluente SO₂ apresentou registro de ultrapasse do padrão na estação de Canoas/PU no dia 23/05/2021, que resultou em um IQAr de 112. Uma análise das condições meteorológicas registradas no dia 23/05/2021 é mostrada a seguir visando identificar fatores que possam ter contribuído para a elevada concentração do poluente neste dia.

- Análise do episódio de máxima concentração diária do poluente SO₂ na estação Canoas/PU, em 23/05/2021.

As observações de superfície da Estação Meteorológica do INMET localizada em Porto Alegre (A-801) indicam que as temperaturas oscilaram entre 14°C e 15°C durante todo





o dia, os ventos estiveram moderados de noroeste, predominantemente nublado e sem precipitação.

A imagem de satélite (Figura 7) ilustra que havia um ciclone extratropical maduro a SE do Rio Grande do Sul/Leste do Uruguai, associado a muita nebulosidade baixa (principalmente na metade sul do Estado).

As análises de superfície das 09:00 L (12:00 UTC) e das 15:00 L (18:00 UTC) (Figuras 8a e 8b, respectivamente) confirmam a informação de que havia um centro de baixa pressão com 992 hPa no Oceano Atlântico, a sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, com ventos de noroeste no local onde está instalada a estação Canoas/PU. As análises de superfície permitem ainda observar o avanço de um centro de alta pressão com 1020 hPa sobre o Estado do Rio Grande do Sul a partir de Noroeste.

A análise do diagrama SkewT-LogP (radiosondagem realizada as 12 UTC do dia 23/05/2021) indica atmosfera instável nos baixos níveis (Figura 9).

Para facilitar a visualização, foi elaborada uma simulação de uma pluma hipotética de massa de poluente atmosférico com a fonte de emissão localizada na Refinaria de Petróleo REFAP (localizada aproximadamente 1km-1,5km de distância da estação Canoas/PU), o resultado é ilustrado na Figura 10, onde é possível observar que a pluma se desloca em direção a estação Canoas/PU.

Estas condições indicam que havia instabilidade suficiente para gerar mistura das emissões de poluentes da REFAP com o ar atmosférico nos níveis mais inferiores da atmosfera, através do turbilhonamento mecânico, devido ao arrasto com a superfície (rugosidade), pois as temperaturas baixas, a presença de nebulosidade e a velocidade moderada dos ventos dificultavam a formação turbilhonamento de origem térmica. Provavelmente a direção preferencial dos ventos nesse dia levou a formação de pluma de dispersão na direção onde está localizada a estação Canoas/PU (Figura 10), que registrou os picos de concentração de SO₂.



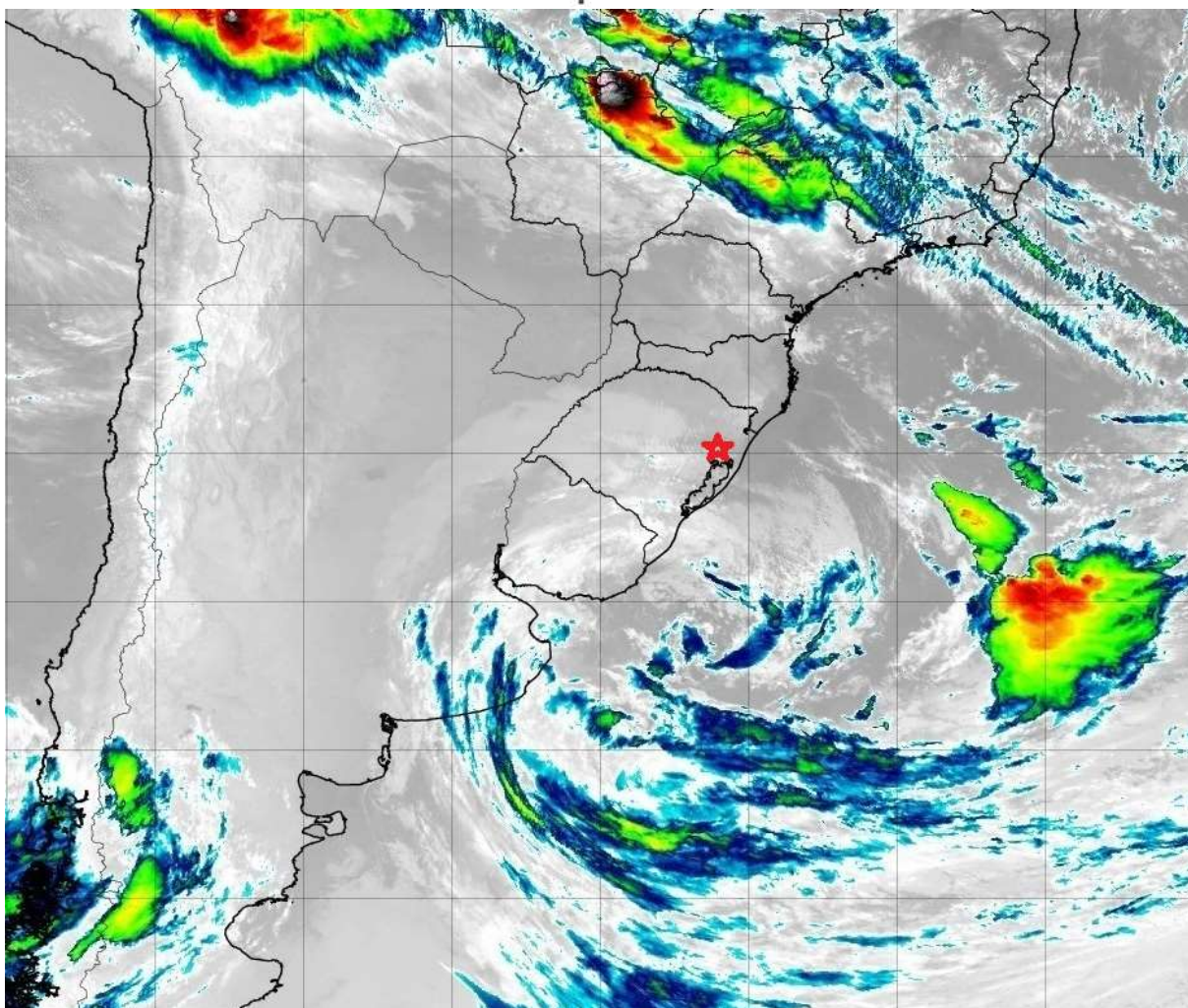


Figura 7: Imagem do Satélite GOES-16 do dia 23/05/2021, às 09:00 L (12:00 UTC), no espectro do infravermelho, com realce de temperatura para salientar topos de nuvens (Ch_13). A estrela em vermelho indica a localização da estação Canoas/PU.

Fonte: Modificado de INPE/CPTEC/DSA.



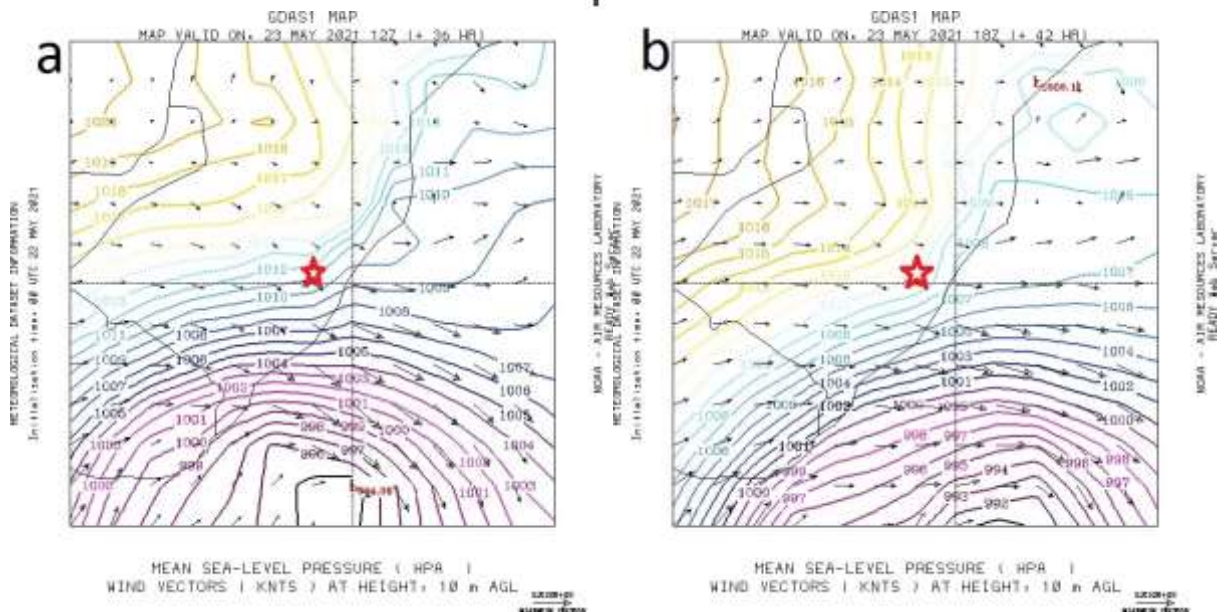


Figura 8: Análise de superfície do dia 25/08/2016 indicando isóbaras e vetores de vento na superfície: a) 09:00 L (12:00 UTC) b) 15:00 L (18:00 UTC). A estrela em vermelho indica a localização da estação Canoas/PU.

Fonte: Modificado de NOAA/ARL (modelagem).

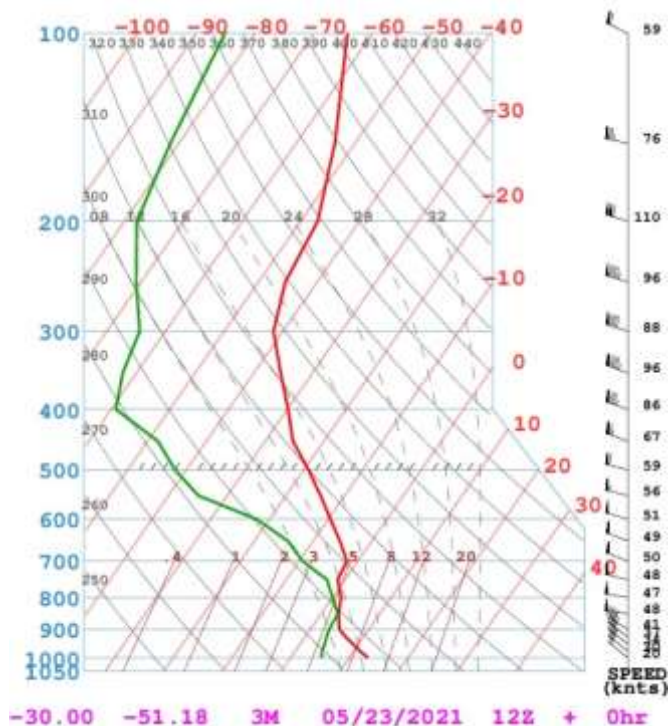


Figura 9: Diagrama SkewT-LogP do dia 23/05/2021, às 09:00 L (12:00 UTC), de Porto Alegre.

Fonte: NOAA/ARL.



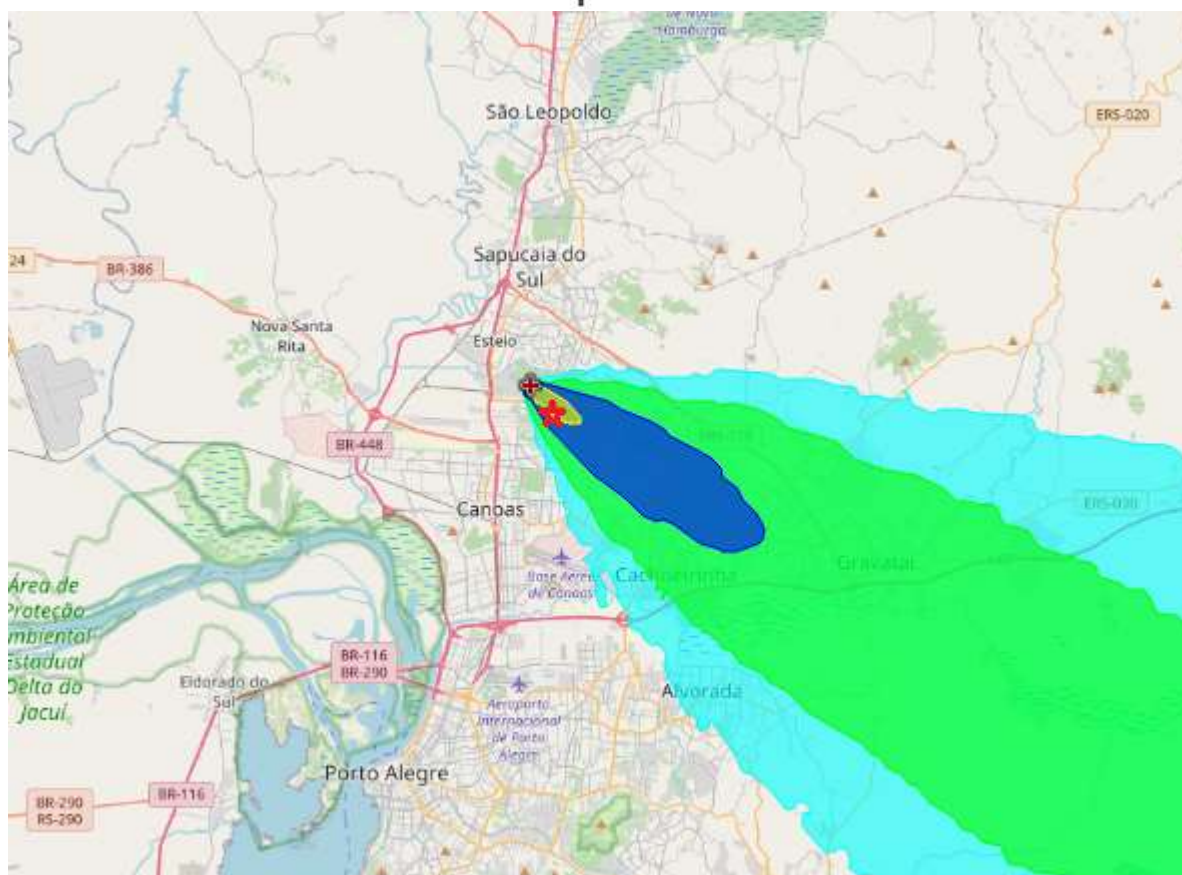


Figura 10: Simulação de pluma de dispersão de uma massa hipotética de poluentes atmosféricos a partir da REFAP para o dia 23/05/2021 às 09:00 L (12:00 UTC). A cruz vermelha é o ponto de emissão e a estrela vermelha o ponto onde está a estação Canoas/PU.

Fonte: Simulação com o modelo Hysplit, NOAA/ARL.





2.3.4 Percentual de dados válidos

A Tabela 9 apresenta o percentual de dados válidos obtidos para cada poluente em cada estação de monitoramento para o ano de 2021, calculados para cada uma das estações do ano (outono: 21-03 a 21-06, inverno: 22-06 a 22-09, primavera: 23-09 a 21-12 e verão: 22-12 a 20-03).

Tabela 9: Percentual de dados válidos por poluente por estação em 2021.

ESTAÇÃO	Poluente	Outono (%)	Inverno (%)	Primavera (%)	Verão (%)	Anual (%)
Canoas/PU	CO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	O ₃	99,8	99,6	100,0	100,0	99,8
	NO ₂	99,6	99,8	86,2	97,4	95,7
	PI10	96,7	83,7	6,6	98,7	71,4
	SO ₂	99,6	100,0	99,9	99,9	99,8
Esteio/PE	CO	97,5	96,6	99,8	99,5	98,4
	O ₃	98,2	97,2	99,8	99,3	98,6
	NO ₂	4,3	14,8	30,3	12,2	15,4
	PI10	93,9	88,5	97,8	96,2	94,1
	SO ₂	98,5	97,6	99,9	98,8	98,7
Gravataí/JT	CO	84,8	0,0	0,0	77,6	40,6
	O ₃	98,0	92,6	89,5	96,7	94,2
	NO ₂	86,1	93,5	85,8	17,3	70,7
	PI10	98,7	90,9	88,5	86,4	91,1
	SO ₂	98,6	35,0	0,0	84,0	54,4
Triunfo/Polo Petroquímico	CO	95,7	96,1	98,2	99,0	97,3
	O ₃	82,4	67,3	1,1	85,6	59,1
	NO ₂	38,7	99,2	96,6	11,7	61,6
	PI10	0,0	0,0	77,7	11,8	22,4
	SO ₂	82,8	98,2	97,1	93,5	92,9
Guaíba/Parque 35	CO	96,4	98,5	85,0	93,9	93,5
	O ₃	75,4	98,4	97,1	97,3	92,0
	NO ₂	99,0	99,1	98,3	98,5	98,7
	PI10	99,7	99,7	68,9	88,2	89,1
	SO ₂	98,6	99,1	98,4	98,4	98,6





3 CONCLUSÕES

Os dados de monitoramento da qualidade do ar obtidos ao longo do ano de 2021 pela rede Ar do Sul nas cinco estações de monitoramento localizadas nas cidades de Canoas, Esteio, Gravataí, Triunfo e Guaíba mostraram que não houve ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 491/2018 para os poluentes CO, PI10, NO₂ e O₃. Somente para o poluente SO₂ foi registrado uma ultrapassagem do padrão de máximo diário na estação de Canoas, decorrente provavelmente de uma emissão elevada e pontual do poluente por fonte local, associado com a instabilidade atmosférica e turbilhonamento mecânico junto aos níveis mais inferiores da atmosfera, que proporcionaram a mistura das emissões de SO₂ no ar atmosférico enquanto a pluma de dispersão era direcionada para a EMQA Canoas/PU.

Em termos de concentrações médias anuais, observou-se que em 2021 não houve alteração significativa das concentrações destes poluentes no ambiente em relação aos últimos quatro anos anteriores.

Considerando os dados das cinco estações de monitoramento em termos de IQAr, o ano de 2021 apresentou 91,55% dos dias com qualidade do ar boa, 8,40% com qualidade regular e 0,06% com qualidade inadequada. Não houve registros de qualidade “má” ou pior no ano de 2021.

Em suma, nos locais do Estado onde se dispõe de estação de monitoramento automática da qualidade do ar, os dados do monitoramento obtidos pela rede Ar do Sul da FEPAM para o ano de 2021 mostram que os níveis dos poluentes presentes na atmosfera se mantiveram constantes em relação aos anos anteriores e, exceto por um episódio em que o poluente SO₂ registrou ultrapassagem do padrão de qualidade em uma das estações, os demais poluentes atmosféricos monitorados atenderam aos padrões de qualidade do ar.





4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

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

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

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

_____. 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.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUÍS ROESSLER – FEPAM/RS. **Rede Estadual de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar Relatório 2019**. Porto Alegre, 2020. Disponível em http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorio_anual_auto.asp?id=A.A&status=s. Acesso em 05 Abr. 2021.





INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 04 Fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, INPE. Disponível em <http://satelite.cptec.inpe.br/home/index.jsp>. Acesso em 04 Fev. 2022.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Air Resources Laboratory**. Disponível em <http://www.arl.noaa.gov/>. Acesso em 04 Fev. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ambient air pollution**. Disponível em <http://www.who.int/airpollution/en/>. Acesso em 31 Jul. 2018.

