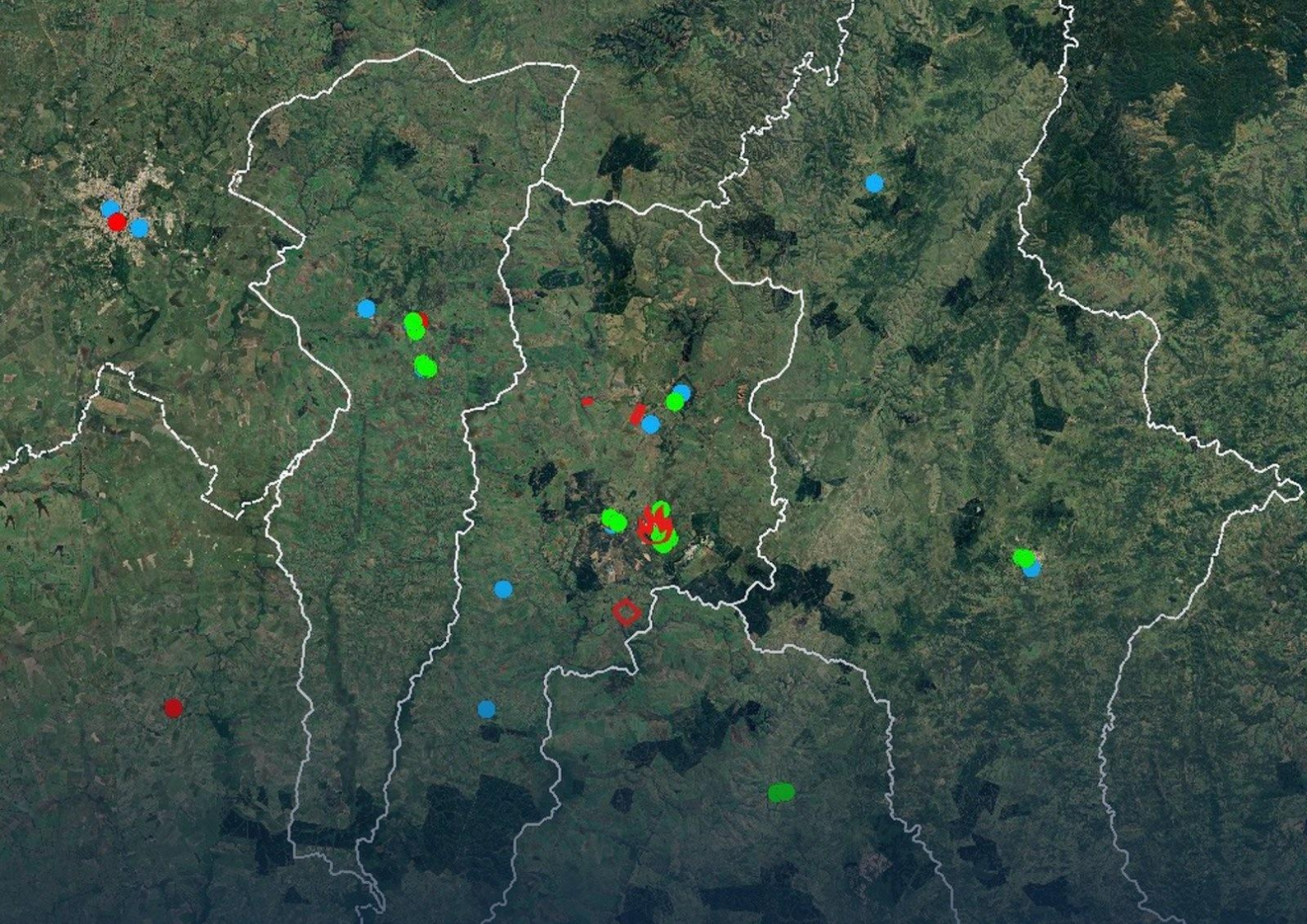




ESTUDO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Relatório Síntese

Região da UTE Candiota III – Candiota/RS

Síntese dos Anexos I a X: receptores, meteorologia, qualidade do ar, inventário de emissões, modelagem CALPUFF (Cenários A a F), dias críticos, monóxido de carbono, ozônio e justificativa de fontes.

Período modelado 2021–2025

Referência legal Resolução CONAMA nº 506/2024

Responsáveis Jonas da Costa Carvalho · CREA RS122364
Rita Alves · CREA RS103619

SUMÁRIO

1. Introdução geral	2
2. Georreferenciamento – Anexo I	3
3. Clima e Meteorologia – Anexo II	8
4. Qualidade do Ar – Anexo III	9
5. Inventário de Emissões – Anexo IV	10
6. Modelagem da Dispersão – Anexo V	11
7. Cenários de Modelagem (A a F) – Anexo VI	12
8. Diagnóstico Meteorológico dos Dias Críticos – Anexos VII e VII-1	20
9. Modelagem do Monóxido de Carbono (CO) – Anexo VIII	22
10. Modelagem do Ozônio (O3) – Anexo IX	23
11. Justificativa de Fontes – Anexo X	24
12. Conclusões gerais e recomendações	26
12.1 Destaque: médias anuais modeladas frente ao PI-2 anual	26
12.2 Destaque: médias de 24 horas modeladas frente ao PI-2 de 24 horas	28
12.3 Conclusões integradas	29
13. Considerações finais	31

1. Introdução geral

O Estudo de Dispersão Atmosférica da Região da UTE Candiota III avalia como as emissões das usinas termelétricas a carvão e das minas que as abastecem afetam a qualidade do ar em Candiota/RS e no entorno. A área de estudo tem 100 km × 100 km, é centrada na chaminé da UTE Candiota III e inclui as vilas próximas à usina e os municípios Bagé, Hulha Negra, Pedras Altas, Pinheiro Machado e Aceguá. Os resultados são comparados aos padrões da **Resolução CONAMA nº 506/2024**, tendo como referência o Padrão Intermediário 2 (PI-2), hoje vigente, e o Padrão Final (PF) como meta.

Tabela 1 – Padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA nº 506/2024 adotados no estudo.

Poluente	Período	PI-2 (µg/m³)	Padrão Final (µg/m³)
MP10	24 h / anual	100 / 35	45 / 15
SO2	24 h / anual	50 / 30	40 / 20
NO2	1 h / anual	240 / 50	200 / 40
CO	média móvel de 8 h	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
O3	média móvel de 8 h	130	100

Fonte: BRASIL. Resolução CONAMA nº 506/2024.

O estudo foi organizado em dez anexos técnicos, complementares entre si:

Tabela 2 – Anexos técnicos do estudo e papel de cada um.

Anexo	Conteúdo	Papel no estudo
I	Receptores discretos e mapas	Define onde se avalia o impacto sobre a população
II	Caracterização meteorológica e climatológica	Descreve a atmosfera que transporta e dilui os poluentes
III	Qualidade do ar monitorada (2020–2025)	Mostra o estado atual medido nas estações
IV	Inventário de emissões	Quantifica o que é emitido e por quem
V	Modelagem da dispersão (WRF–CALMET–CALPUFF)	Descreve a ferramenta de cálculo e seus limites
VI	Cenários A a F (2021–2025)	Apresenta as concentrações simuladas por configuração de fontes
VII e VII-1	Diagnóstico meteorológico dos dias críticos	Explica por que e quando ocorrem os máximos
VIII	Monóxido de carbono	Avalia o CO
IX	Ozônio (CAMx, 2024)	Avalia o poluente secundário e o compara ao observado
X	Justificativa de fontes	Demonstra que os demais empreendimentos licenciados são fontes desprezíveis

Fonte: elaborado a partir dos Anexos I a IX.

Este relatório de síntese resume cada anexo com os resultados quantitativos principais e reúne, ao final, as conclusões integradas e as recomendações. Os valores modelados representam um **limite superior conservador**: as fontes foram simuladas em operação contínua a plena carga nas 8.760 horas de cada ano, e o NO_x foi comparado ao padrão de NO₂ com conversão integral.

2. Georreferenciamento – Anexo I

O Anexo I organiza a base espacial do estudo: 50 receptores discretos georreferenciados (19 escolas, 11 unidades de saúde e 20 áreas de lazer), em UTM fuso 22 S, SIRGAS 2000 (EPSG 31982), com a chaminé da UTE Candiota III como referência central.

Os receptores se distribuem de forma heterogênea na área de estudo, com maior concentração nas áreas urbanizadas de Candiota e Hulha Negra e presença também em Bagé, Aceguá, Pedras Altas e Pinheiro Machado (Figura 1). As Tabelas 3, 4 e 5 listam os receptores por tipo, com coordenadas UTM, descrição, município e distância e direção em relação à UTE Candiota III. A categoria “Hospital” foi padronizada como “Unidade de saúde”, por incluir hospitais, UBS, postos de saúde e pronto atendimento.

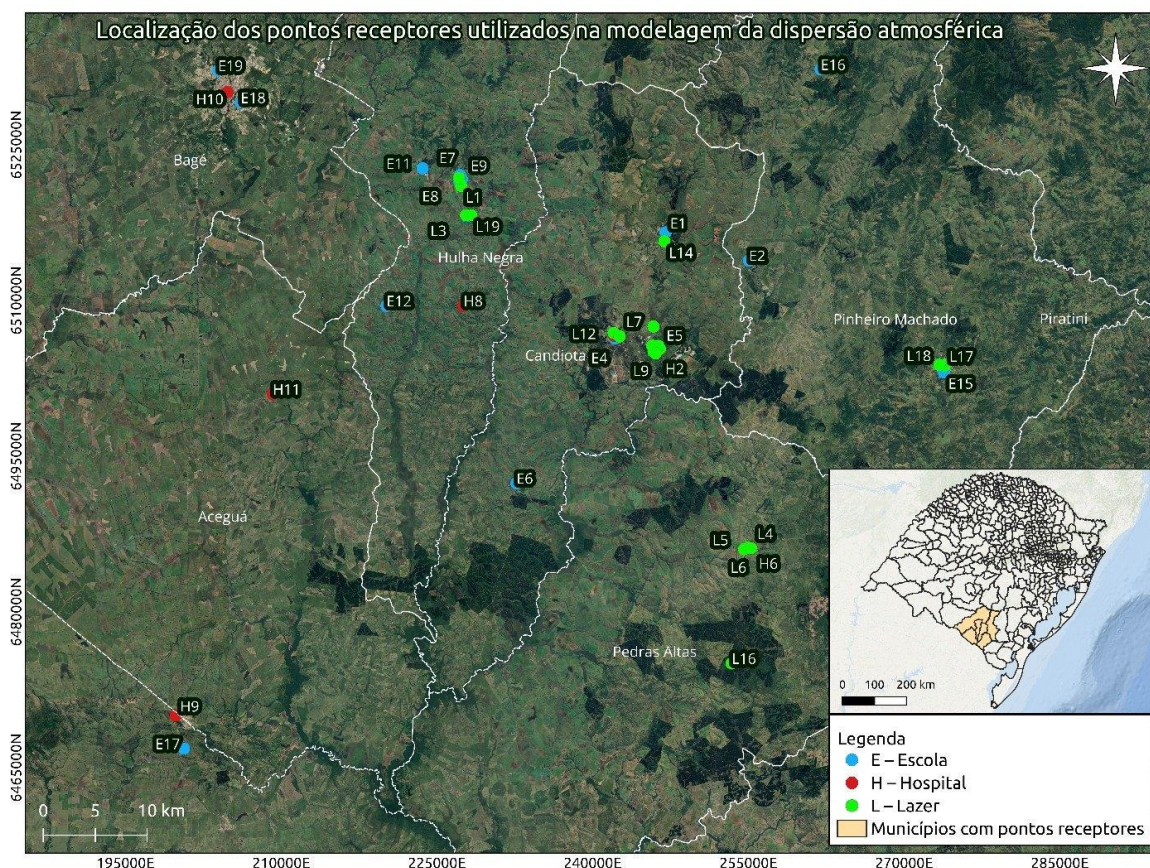


Figura 1 – Distribuição espacial dos receptores discretos considerados na modelagem da dispersão atmosférica na área de estudo da UTE Candiota III (E = escola; H = unidade de saúde; L = lazer). *Fonte: Anexo I (Figura 1).*

Tabela 3 – Receptores discretos escolares selecionados para o estudo.

Receptor	UTM X (m)	UTM Y (m)	Descrição	Município	Distância/direção à UTE Candiota III
E1 (1)	247023	6516565	Escola Municipal Carvãozinho	Candiota	10,5 km (N)
E2 (2)	255049	6513859	E.M.E.F. Santa Izabel	Candiota	12,4 km (SW)
E3 (3)	242150	6506725	EEEF Dário Lassance	Candiota	3,28 km (W)
E4 (4)	242147	6506343	E.M.E.F. Acácio da Neves	Candiota	7,52 km (NW)
E5 (5)	246257	6505337	E.E.M. Jerônimo Mércio da Silveira	Candiota	1,35 km (SE)
E6 (6)	232668	6492415	Escola E.E.M. 08 de Agosto	Candiota	18 km (SW)
E7 (7)	227219	6522090	E.M.E.F. Monteiro Lobato	Hulha Negra	23,7 km (NW)
E8 (8)	227114	6521569	Polo UAB Hulha Negra	Hulha Negra	23,5 km (NW)
E9 (9)	227401	6521694	Escola E. 1º Grau Prof. ^a Dalva	Hulha Negra	21 km (NW)
E10 (10)	227847	6518136	EE Manuel Lucas de Oliveira	Hulha Negra	27,16 km (NW)
E11 (11)	223612	6522734	E.M.E.F. Auta Gomes	Hulha Negra	27,2 km (NW)
E12 (12)	220152	6509499	E.M.E.F. Colônia Nova Esperança	Hulha Negra	25,3 km (NW)
E13 (13)	255140	6486187	EMEF	Candiota	22,5 km (SE)
E14 (14)	255253	6486249	Escola Municipal de Educação Infantil	Candiota	22,95 km (SW)
E15 (15)	273827	6503104	E.M.E.I. Prof. ^a Tânia Maria Silveira Cardoso	Pinheiro Machado	28,6 km (SW)
E16 (16)	261965	6532258	E.M.E.F. Ana Tereza Rosa	Torrinhas	31,6 km (NE)
E17 (17)	200629	6466853	EE Barão Aceguá	Aceguá	57,8 km (SW)
E18 (18)	206105	6529077	Colégio Estadual Prof. Waldemar Amoretty Machado	Bagé	44,8 km (NE)
E19 (19)	203914	6532163	E.E. Carlos Antonio Kluwe	Bagé	47,7 km (NW)

Fonte: Anexo I (Tabela 1).

Tabela 4 – Receptores discretos de saúde selecionados para o estudo.

Receptor	UTM X (m)	UTM Y (m)	Descrição	Município	Distância/direção à UTE Candiota III
H1 (20)	246139	6504976	Hospital Beneficente de Candiota	Candiota	1,66 km (SE)
H2 (21)	246126	6504951	Posto de saúde	Candiota	1,69 km (SE)
H3 (22)	246151	6504986	Hospital Municipal de Candiota	Candiota	3,38 km (W)
H4 (23)	242042	6506759	AFUCAN – Central Médica	Candiota	23,4 km (NW)
H5 (24)	242064	6506642	UBS Dario Lassance	Candiota	3,35 km (W)
H6 (25)	255145	6486188	Pronto Atendimento	Pedras Altas	22,6 km (SE)
H7 (26)	255242	6486249	Hospital Lydia de San Mamede Assis Brasil	Pedras Altas	22,5 km (SE)
H8 (27)	227573	6509499	UBS Aceguá	Aceguá	57,9 km (W)
H9 (28)	199832	6470039	Hospital URCAMP	Bagé	46,6 km (NW)
H10 (29)	204810	6530073	Hospital Colônia Aceguá	Aceguá	39 km (SW)

Fonte: Anexo I (Tabela 2).

Tabela 5 – Receptores discretos de lazer selecionados para o estudo.

Receptor	UTM X (m)	UTM Y (m)	Descrição	Município	Distância/direção à UTE Candiota III
L1 (31)	227332	6521042	Praça Municipal	Hulha Negra	23,4 km (NW)
L2 (32)	227126	6521804	Ginásio Municipal	Hulha Negra	23,8 km (NW)
L3 (33)	227867	6518237	Praça da Amizade	Pedras Altas	21 km (NE)
L4 (34)	255006	6486244	Praça Joaquina de Assis Brasil	Pedras Altas	22 km (SE)
L5 (35)	254591	6486062	Praça Alexandre Antônio Barbosa	Pedras Altas	22,5 km (SE)
L6 (36)	255253	6486155	Praça Central	Pedras Altas	23 km (SE)
L7 (37)	245857	6507502	Praia de Candiota	Candiota	1,14 km (NE)
L8 (38)	246469	6505369	Mirante do Básico	Candiota	1,55 km (SE)
L9 (39)	245860	6505099	Canteiro o ET	Candiota	1,44 km (SE)
L10 (40)	246318	6505635	Centro Cultural de Candiota	Candiota	1,2 km (SW)
L11 (41)	245738	6505657	CTG Candeeiro do Pago	Candiota	0,9 km SE
L12 (42)	242023	6506885	Praça Dario Lassance	Candiota	3,42 km (NW)

Receptor	UTM X (m)	UTM Y (m)	Descrição	Município	Distância/direção à UTE Candiota III
L13 (43)	242600	6506548	Ginásio de Esporte Lucas Porciúnculo	Candiota	2,8 km (W)
L14 (44)	246908	6515712	Pórtico de Candiota	Candiota	9,5 km (N)
L15 (45)	246061	6504916	Praça Vila Residencial	Candiota	1,71 km (SE)
L16 (46)	253397	6475062	Assoc. Rural	Pedras Altas	32,4 km (SE)
L17 (47)	273917	6503747	Praça	Pinheiro Machado	27,7 km (SE)
L18 (48)	273389	6503801	Zoológico municipal	Pinheiro Machado	28,2 km (SE)
L19 (49)	228287	6518229	Clube Concórdia	Trigolândia	20 km (NW)
L20 (50)	227811	6518224	Igreja	Trigolândia	21 km (NW)

Fonte: Anexo I (Tabela 3).

A análise é feita em três escalas: a área regional de 100 × 100 km, um raio de cerca de 30 km e o entorno imediato de até 5 km. Os receptores concentram-se em Candiota e Hulha Negra, com pontos também em Bagé, Aceguá, Pedras Altas e Pinheiro Machado.

- **Entorno imediato:** os receptores mais próximos ficam a cerca de 1 a 2 km da usina, como o CTG Candeeiro do Pago (0,9 km), a Prainha de Candiota (1,14 km), a E.E.M. Jerônimo Mércio da Silveira (1,35 km) e o Hospital Beneficente de Candiota (1,66 km).
- **Núcleos habitacionais de Candiota:** Vila Residencial (1 km, sudeste), Dário Lassance (3 km, oeste), João Emílio (8 km, norte), São Simão (9,5 km, nordeste), Vila Operária (10 km, norte) e Seival (12 km, noroeste).
- **Centro urbano regional:** Bagé, Hulha Negra, Aceguá, Pedras Altas e Pinheiro Machado

O anexo ressalta que distância e direção não indicam exposição por si: a concentração em cada receptor depende da meteorologia local, da altura efetiva de emissão e do relevo. A base serve para associar cada receptor às concentrações modeladas nos Anexos VI, VIII e IX.

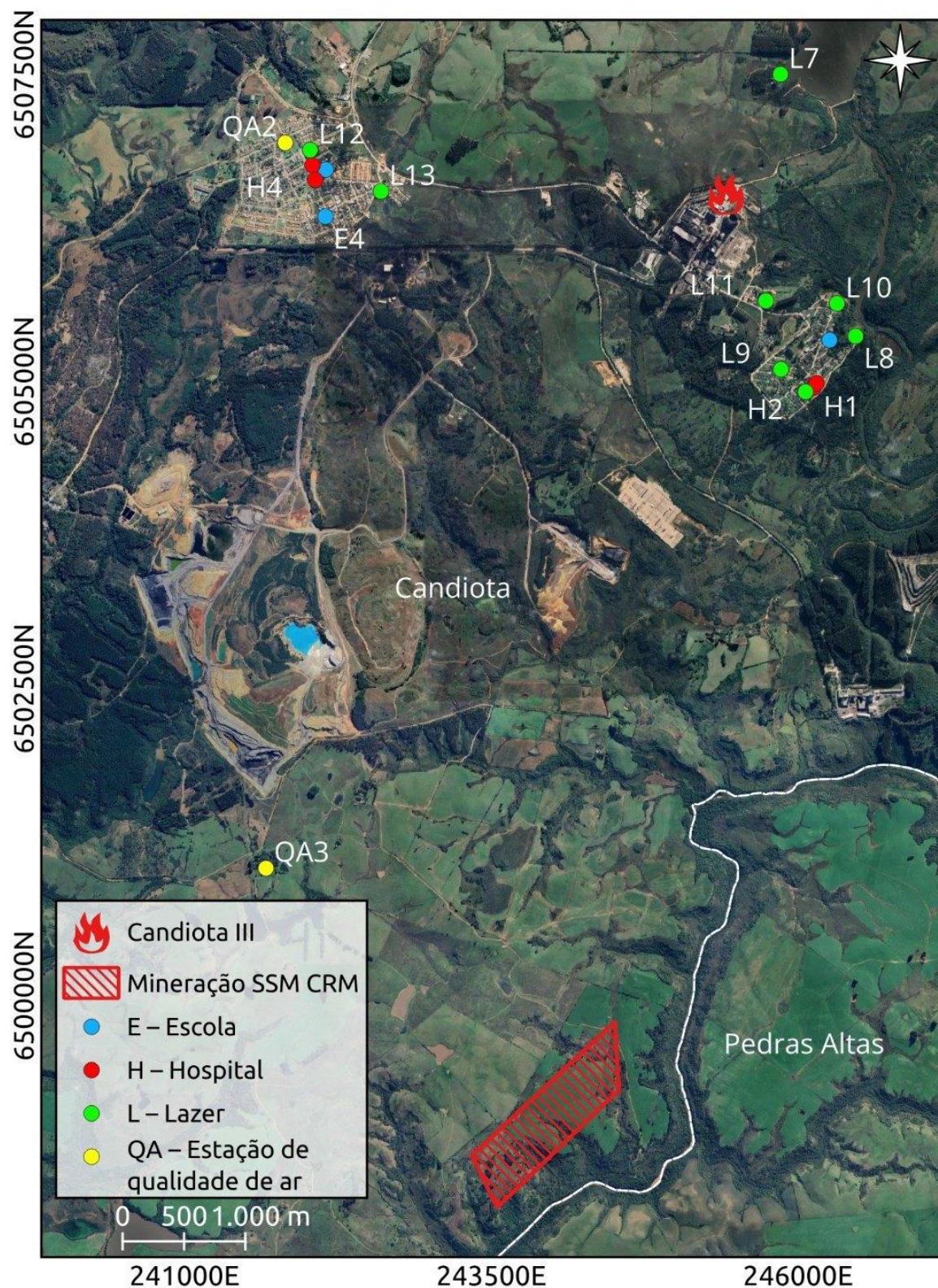


Figura 2 – Entorno imediato da UTE Candiota III: receptores discretos (escolas, hospitais e áreas de lazer), área de mineração SSM/CRM e estações de qualidade do ar (QA). *Fonte: Anexo I (Figura 6).*

3. Clima e Meteorologia – Anexo II

Candiota tem clima subtropical úmido (Cfa de Köppen), com chuva bem distribuída no ano e forte sazonalidade térmica, e o modelo meteorológico WRF reproduz bem as variáveis meteorológicas com exceção da precipitação.

A climatologia da estação INMET de Bagé (1961–2025) mostra temperatura média de cerca de 24 °C em janeiro e 12 °C em julho, amplitude anual próxima de 12 °C e chuvas mensais entre 112 e 135 mm, sem estação seca. A região alterna massas de ar tropicais no verão e polares no outono e no inverno, com passagem frequente de frentes frias. As incursões de ar polar entre maio e setembro favorecem inversões térmicas que reduzem a dispersão.

No regime de ventos de 2020 a 2025, predominam os setores leste, nordeste e sudeste, e o norte no inverno. A velocidade média sazonal vai de 3,18 m/s no outono a 3,80 m/s na primavera, com calmarias de 2,6 % a 4,8 %. Na estação do empreendimento (2020–2024), a radiação solar média varia de cerca de 120 W/m² em junho a 340 W/m² em janeiro.

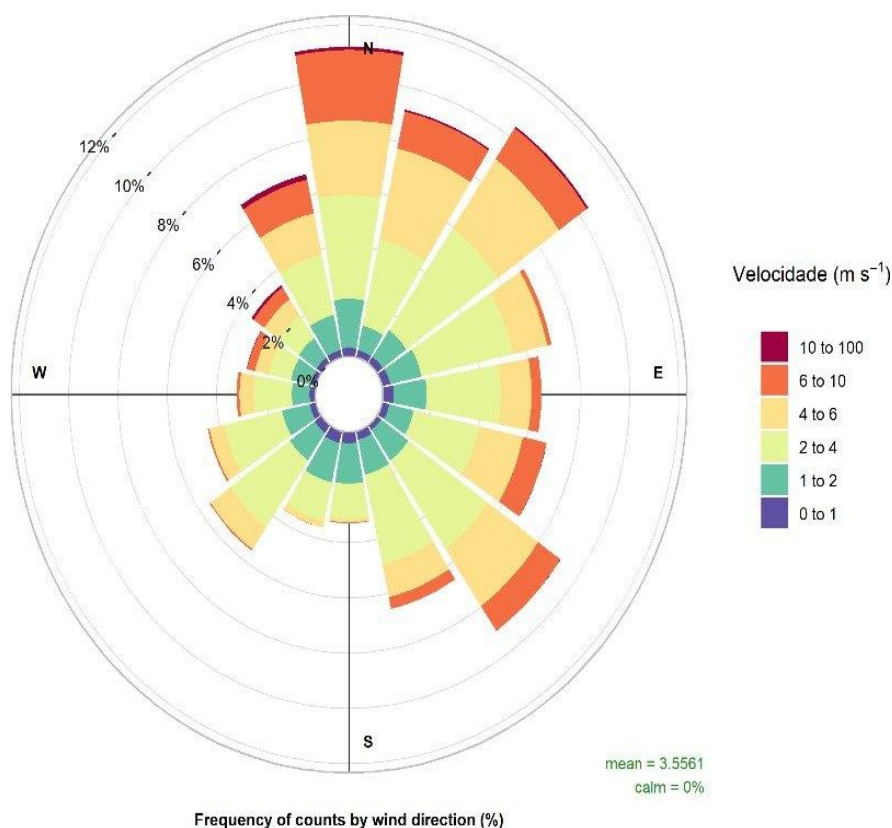


Figura 3 – Rosa dos ventos de inverno (2020–2025) em Candiota/RS: predomínio dos setores norte e nordeste, com velocidade média de 3,56 m/s. *Fonte: Anexo II (Figura 4).*

A validação do WRF usou oito estações automáticas do INMET no sul do Rio Grande do Sul.

Tabela 6 – Validação do modelo WRF frente às estações automáticas do INMET.

Variável	Correlação	RMSE	Desempenho
Pressão atmosférica	próxima de 1,0 (R^2 0,98)	< 1 hPa	Excelente
Temperatura do ar	> 0,9	2,1 a 2,7 °C	Bom, leve subestimativa
Ponto de orvalho	> 0,9	2,0 a 2,8 °C	Bom, leve subestimativa
Umidade relativa	0,77 a 0,83	8 % a 13 %	Satisfatório
Velocidade do vento	R^2 de 0,04 a 0,65	1,6 a 2,2 m/s	Variável, tende a superestimar
Precipitação	< 0,4	2,0 a 4,6 mm	Fraco na intensidade

Fonte: Anexo II.

O anexo conclui que as estações quentes e instáveis favorecem a dispersão, enquanto o outono e o inverno, mais estáveis, favorecem o acúmulo de poluentes junto à superfície.

4. Qualidade do Ar – Anexo III

De 2020 a 2025, a rede de monitoramento registrou a qualidade do ar entre Boa e Moderada na maior parte do tempo, com poucas ultrapassagens do PI-2: quatro de MP_{10} (em 2020, 2021 e 2025) e uma de SO_2 (em 2020).

A rede tem três estações (Aeroporto, Candiota e Três Lagoas), cada uma com raio médio de cobertura de 10 km, numa área monitorada de cerca de 3.600 km². Elas medem MP_{10} e SO_2 em média diária e NO_2 máximos horários.

Tabela 7 – Maiores concentrações medidas na rede de monitoramento, por ano (2020–2025).

Ano	MP_{10} máx. 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_2 máx. 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 máx. 1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2025	113 (Aeroporto)	22,66 (Três Lagoas)	58,22 (Três Lagoas)
2024	86,00 (Candiota)	27,05 (Candiota)	86,35 (Candiota)
2023	67,37 (Três Lagoas)	23,36 (Candiota)	65,32 (Três Lagoas)
2022	94,45 (Três Lagoas)	27,83 (Aeroporto)	142,66 (Três Lagoas)
2021	101,33 (Três Lagoas)	47,24 (Aeroporto)	59,50 (Três Lagoas)
2020	118,75 (Três Lagoas)	61,44 (Três Lagoas)	69,64 (Três Lagoas)

Maior valor da rede em cada ano. Em negrito, os valores acima do PI-2 da Resolução CONAMA nº 506/2024 (MP_{10} 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; SO_2 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; NO_2 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Em 2025, Candiota também passou do PI-2 de MP_{10} , com 107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 19 de novembro.

Fonte: Anexo III.

As médias anuais de MP_{10} ficaram entre 16 e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e as de SO_2 abaixo de 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os episódios de concentração alta ocorreram com camada limite estável e

vento abaixo de 2 m/s, sobretudo à noite e no início da manhã. Os picos de fontes elevadas, como a chaminé, aparecem mais em Três Lagoas, na direção predominante do vento (nordeste). Já os de fontes superficiais aparecem mais na estação Candiota, mais próxima delas.

5. Inventário de Emissões – Anexo IV

O Anexo IV identifica e quantifica as fontes de emissão consideradas na modelagem: as fontes pontuais (chaminés) das usinas termelétricas e as emissões fugitivas de material particulado inalável (MP10) da mineração de carvão que as abastece.

Fontes pontuais. Na região operam duas UTEs a carvão, ambas com chaminés de 200 m:

Tabela 8 – Características e sistemas de controle das usinas termelétricas consideradas.

UTE	Situação	Potência	Tecnologia	Controle de emissões
Candiota III (Âmbar Energia)	Em operação	350 MW	Carvão pulverizado	Queimadores Low-NOx; 2 precipitadores eletrostáticos; dessulfurizador semiseco com cal (SO ₂ > 80%, MP > 99%); CEMS
Pampa Sul 1	Em operação	340 MW	Leito fluidizado circulante (CFB)	Injeção de calcário na fornalha (≈96% de dessulfurização); filtro de mangas/precipitador (≈99%); baixa temperatura de queima para NOx
Pampa Sul 2	Em licenciamento	340 MW	Leito fluidizado circulante (CFB)	Igual à Pampa 1

Fonte: Anexo IV (Tabela 1).

Fontes fugitivas (mineração). O carvão é lavrado a céu aberto na Mina Candiota (CRM), que abastece a UTE Candiota III por dois transportadores de correia de 900 t/h até um pátio coberto de 140 mil t, e na Mina do Seival (SSM), que abastece a Pampa Sul pelo método de lavra em tiras (strip mining), com caminhões de 45 t e esteiras. As atividades inventariadas foram perfuração, detonação, escavação e manuseio de carvão e estéril, terraplenagem, carga e descarga, britagem, transferências em esteira, erosão eólica de pilhas, ressuspensão em vias não pavimentadas e queima de combustível em veículos e máquinas.

Método. As taxas foram calculadas por fatores de emissão da AP-42 (U.S. EPA) e do National Pollutant Inventory (Austrália), com a equação $E = A \times EF \times (1 - ER/100)$.

Usaram-se dados meteorológicos locais: normal climatológica do vento (INMET 1991–2020), vento horário de Bagé (A827) para a erosão eólica e 127 dias/ano com chuva $\geq 0,254$ mm (2023–2025) para o abatimento natural em vias não pavimentadas. As emissões totais em g/s foram distribuídas pelas áreas de cada cava e do beneficiamento ($\text{g/s}\cdot\text{m}^2$). A emissão total de MP10 de produção da Mina SSM é de cerca de **1,92 g/s**.

Conclusão do anexo. As taxas obtidas são representativas das emissões das minas e alimentaram o modelo CALPUFF. Por ser conservativa, a modelagem considera emissão contínua de MP10 ao longo de todo o ano em cada área de mineração.

6. Modelagem da Dispersão – Anexo V

O Anexo V descreve o sistema de modelagem usado para estimar as concentrações ao nível do solo. Foi adotado o **CALPUFF** (versão 7.x: CALPUFF 7.2.1/7.3.2, CALMET 6.5.0 e CALPOST 7.1.0), modelo gaussiano não estacionário do tipo *puff* que representa a variação no tempo e no espaço das condições meteorológicas e é adequado a fontes altas, terreno complexo e transporte a distâncias de dezenas de quilômetros. O sistema tem três componentes: CALMET (campo meteorológico diagnóstico 3D), CALPUFF (transporte e dispersão) e CALPOST (pós-processamento).

Meteorologia de entrada. Os campos do CALMET foram gerados a partir do modelo de mesoescala **WRF**, com três grades aninhadas centradas na UTE Candiota III (15 km, 5 km e 1 km), 34 níveis verticais e passo de 60 s, inicializado com a análise global NCEP FNL (ds083.2, 1°). Foram feitas cinco rodadas anuais (2021–2025) com saída horária. As principais parametrizações foram WSM6 (microfísica), RRTMG (radiação), Noah (solo), Mellor-Yamada-Janjic (camada limite) e Grell G3 (cumulus). O domínio de dispersão tem 100 km $\times$ 100 km (10.000 km²) com resolução de 1 km.

Limitações e desempenho. O anexo registra as limitações reconhecidas do sistema:

- o CALMET é diagnóstico e não representa por si só as circulações vale–montanha;
- em testes com traçadores, o modelo tende a **subestimar os picos de curta duração**;
- a hipótese de espécies conservativas superestima SO₂ e NO_x a jusante.

Os campos do WRF/CALMET foram comparados com as estações meteorológicas e de qualidade do ar segundo os referenciais da U.S. EPA (por exemplo, RMSE do vento ≤ 2 m/s, erro de direção $\leq 30^\circ$, erro de temperatura ≤ 2 K).

Conclusão do anexo. O sistema estima bem a ordem de grandeza e a distribuição espacial das concentrações e é adequado à comparação com os padrões, mas não prevê o valor exato em um determinado ponto e hora. A incerteza é maior justamente nas situações de estagnação em que ocorrem os máximos: vento abaixo de 1,5 m/s, camada de mistura noturna abaixo da chaminé e escoamento em meandro. Isso reforça a necessidade de monitoramento contínuo.

7. Cenários de Modelagem (A a F) – Anexo VI

O Anexo VI apresenta, em seis volumes, os resultados do CALPUFF para 2021–2025 em toda a malha de 10.000 km² e nos 50 receptores discretos. São avaliados MP10 e SO₂ (média de 24 h e anual) e NO_x (máximo de 1 h e média anual). O NO_x é comparado ao padrão de NO₂ sob a hipótese conservadora de conversão integral (Tier 1). Exceto no Cenário E, as fontes emitem de forma contínua, a plena carga, durante todo o ano.

Tabela 9 – Configuração de fontes de cada cenário de modelagem.

Cenário	Configuração de fontes
A	Sem a UTE Candiota III: Pampa Sul 1 + minas CRM e SSM (background regional)
B	UTE Candiota III isolada, 320 MW contínuos
C	Candiota III + Pampa Sul 1 + minas CRM e SSM
D	Candiota III em carga máxima (350 MW) + Pampa Sul 1 + minas (condição mais conservadora para SO ₂)
E	Candiota III isolada em 15 dias de partida, parada e transitórios, com emissão horária real
F	Candiota III 320 MW + Pampa Sul 1 e 2 + minas (configuração futura, maior carga total)

Fonte: Anexo VI, volumes A a F.

Tabela 10 – Máximos do período 2021–2025 por cenário e comparação com o PI-2 (µg/m³).

Cenário	MP10 24 h (PI-2 100)	MP10 anual (PI-2 35)	SO ₂ 24 h (PI-2 50)	NO _x 1 h (PI-2 240)	Ultrapassagens em receptores discretos
A	≈144 (2021), só dentro das áreas de lavra	58,4 (2025)	< PI-2 em todos os anos	326 (2022, 1 h isolada)	Nenhuma
B	23,53	0,42	152,37	1.456,60	13 (11 SO ₂ + 2 NO _x), 2021–2023

Cenário	MP10 24 h (PI-2 100)	MP10 anual (PI-2 35)	SO2 24 h (PI-2 50)	NOx 1 h (PI-2 240)	Ultrapassagens em receptores discretos
C	197,74	58,6	152,44	1.456,80	18, 2021–2023
D	197,74	58,6	166,85	1.597,50	18, 2021–2023
E	2,67	–	29,49 (59% do PI-2)	9,14	Nenhuma
F	206,00	60,0	152,46	1.456,80	13 (2021–2023) + 1 em 2025

Os máximos de SO2 e NOx de B, C, D e F ocorreram todos em 5 de fevereiro de 2025, episódio analisado no Anexo VII-1.

Fonte: Anexo VI, volumes A a F (tabelas-síntese).

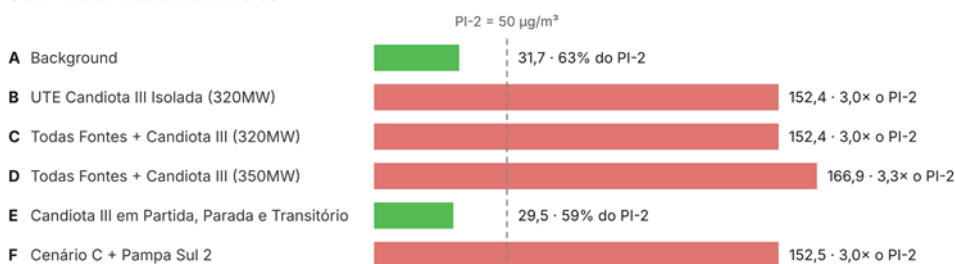
Resultados para SO2 e NOx obtidos nas simulações comparados ao PI-2

Maior concentração simulada em 2021–2025, por cenário (µg/m³)

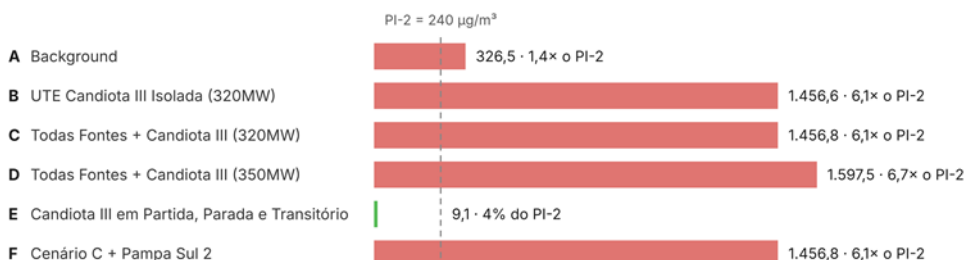
■ acima do PI-2 (ultrapassa o padrão)

■ abaixo do PI-2 (atende ao padrão)

SO2 – maior média de 24 horas



NOx – maior valor de 1 hora



Como ler: a linha tracejada é o limite (PI-2). Barra que passa da linha ultrapassa o padrão; "3,0×" = três vezes o limite.

NOx comparado ao padrão de NO2 com conversão integral (hipótese conservadora). Cenário E: 15 dias de manobras com emissão real.

Figura 4 – Maior concentração de SO2 (média de 24 h) e de NOx (máximo de 1 h) simulada em cada cenário, comparada ao PI-2 (linha tracejada). Barras horizontais indicam os máximos em cada cenário e o rótulo indica o valor de máximo e quantas vezes o limite foi atingido. Fonte: elaborado a partir do Anexo VI.

Principais resultados por cenário

- **Cenário A (background).** SO₂ e NO₂ atendem ao PI-2 e ao Padrão Final Anual em todos os anos, com folga de uma a duas ordens de grandeza; a única exceção é um máximo horário isolado de NO_x em 2022. O MP10 supera o PI-2 de 24 h com frequência, mas apenas dentro das poligonais de lavra. A média anual atende ao PI-2 em quatro dos cinco anos (exceção: 2025). Nenhum receptor populacional é afetado.
- **Cenário B (Candiota III isolada a 320 MW).** O MP10 da usina é irrelevante (máximo de 23,5 µg/m³; médias anuais abaixo de 1,2% do padrão), o que confirma a origem minerária do material particulado. O SO₂ é o poluente determinante, com ultrapassagem do PI-2 de 24 h nos cinco anos; o NO_x supera o padrão horário em todos os anos. Interferência de condições meteorológicas restritivas a dispersão. As médias anuais ficam entre 1% e 9% dos padrões.
- **Cenário C (Todas Fontes + Candiota III a 320MW).** Há ultrapassagens nos três poluentes. O MP10 supera o PI-2 de 24 h em 2021 e de 2023 a 2025, e a média anual supera o PI-2 anual em 2025 (58,6 µg/m³). As 18 ocorrências em receptores se concentram em Candiota, entre 1,1 e 3,3 km da chaminé UTE Candiota III, e atingem os receptores discretos localizados nas escolas, unidades de saúde e áreas de lazer. Observa-se a influência direta de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão atmosférica, principalmente nos anos de 2022 e 2023.
- **Cenário D (Todas Fontes + Candiota III a 350 MW).** É a condição mais conservadora para os poluentes da chaminé UTE Candiota III: tem os maiores máximos de SO₂ e NO_x da série. As ultrapassagens de NO_x ocorrem sobretudo entre 8 h e 13 h, o que caracteriza fumigação matinal. O MP10 tem médias anuais de 23,3 a 58,6 µg/m³, com máximos sobre as lavras, entre 5 e 10 km da usina.
- **Cenário E (regimes operacionais críticos).** Nenhum dos 15 dias de partida, parada ou transitório simulados ultrapassa qualquer padrão de qualidade do ar. O valor mais alto é o de SO₂ em 02/02/2024, com 59% do PI-2. Os transitórios são os mais severos para SO₂ e MP10, e as partidas para NO_x. Os valores ficam entre 0,4% e 48% dos máximos do Cenário B.
- **Cenário F (configuração futura com o Cenário C + Pampa Sul 2).** Com a inclusão neste cenário da UTE Pampa Sul 2, a emissão conjunta de NO_x chega

a 463 g/s e este passa a ser o poluente determinante: os máximos horários superam o PI-2 de 2022 a 2025. De 60% a 80% desses máximos ficam entre 11 e 14 km a noroeste da UTE Candiota III, em área rural sem receptores por ser áreas rurais. Os máximos de SO₂ junto à Candiota III são menores que no Cenário D, devido a carga ser menor (320 MW). O MP10 tem o maior máximo e a maior média anual da série. Este Cenário, como os demais, foram simulados em situações meteorológicas restritivas a dispersão de emissões atmosféricas conforme apresentado no Anexo VII.

As figuras a seguir ilustram, para 2025 (o ano crítico da série), a geografia dos três problemas identificados: o SO₂ concentrado junto à UTE Candiota III (Figura 5, cenário B e Figura 6 cenário D), o NO_x deslocado para o setor das usinas Pampa Sul (Figura 7) e o MP10 sobre as áreas de lavra (Figura 8).

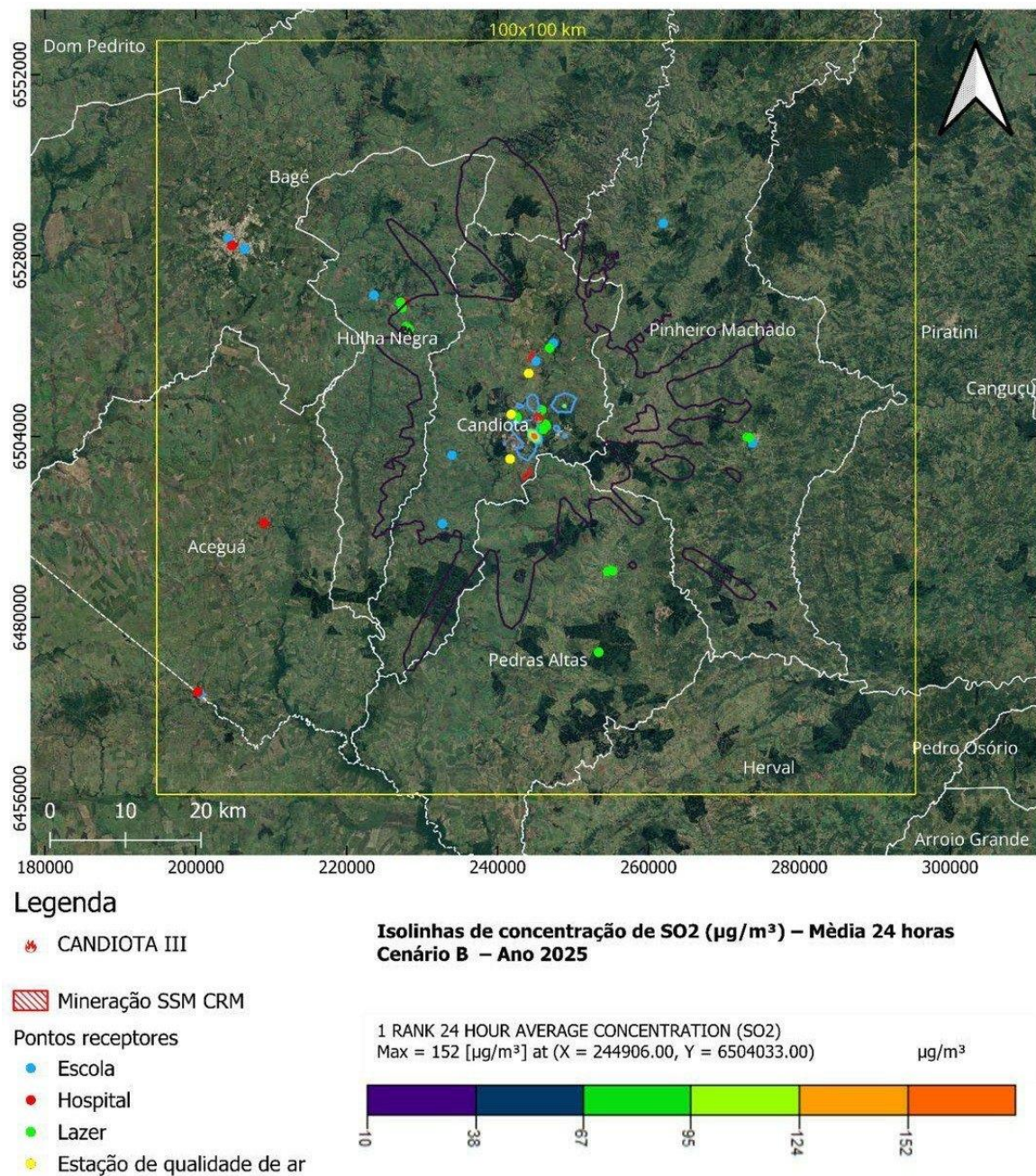
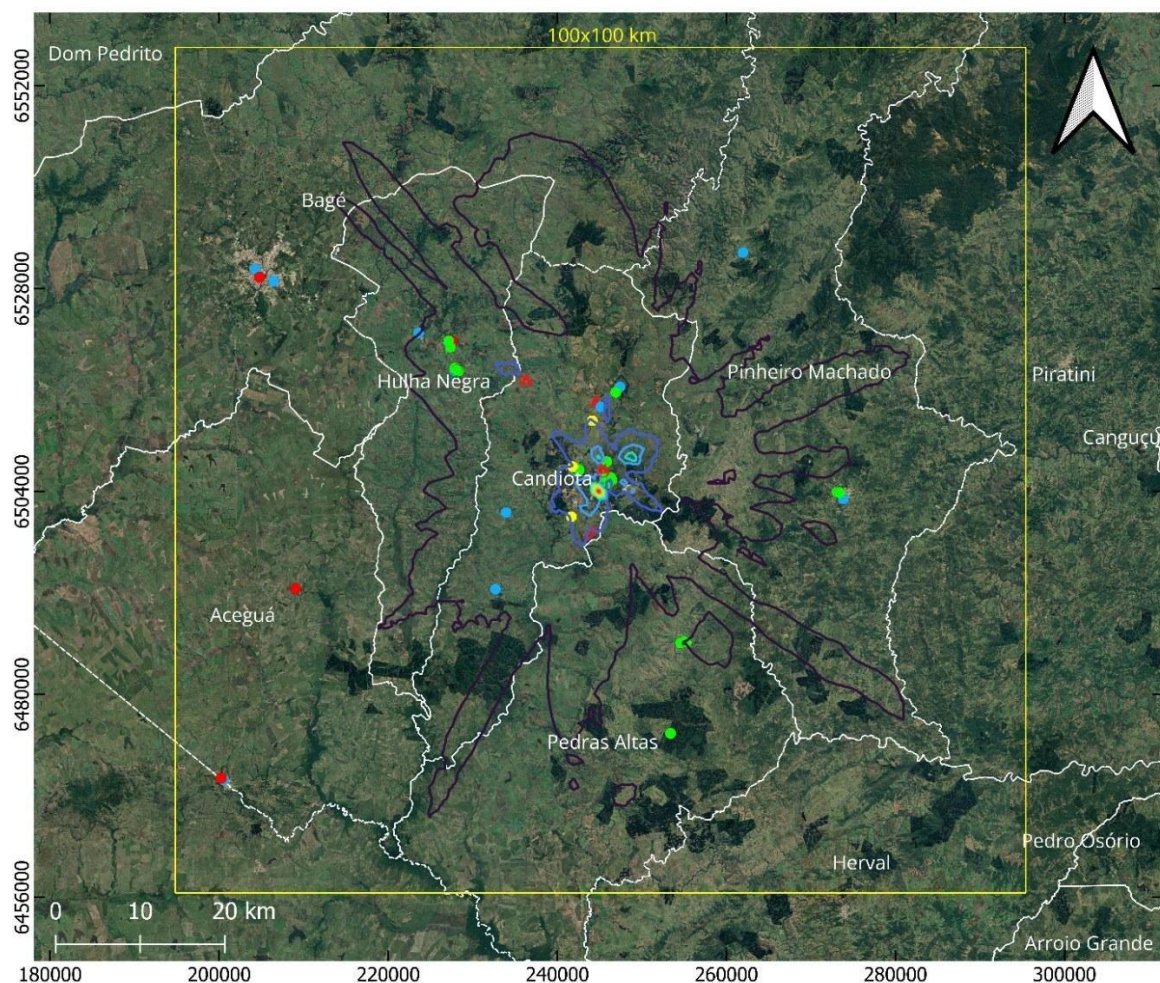


Figura 5 – Cenário B (UTE Candiota III isolada): isolinhas da média de 24 h de SO₂ em 2025. O máximo, de 152 µg/m³, fica junto a Candiota, a poucos quilômetros da chaminé. *Fonte: Anexo VI – Cenário B (Mapa 27).*



Legenda

 CANDIOTA III
PAMPA SUL

 SSM CRM

Pontos receptores

 Escola

 Hospital

 Lazer

 Estação de qualidade de ar

**Isolinhas de concentração de SO₂ (µg/m³) – Média 24 horas
Cenário D – Ano 2025**

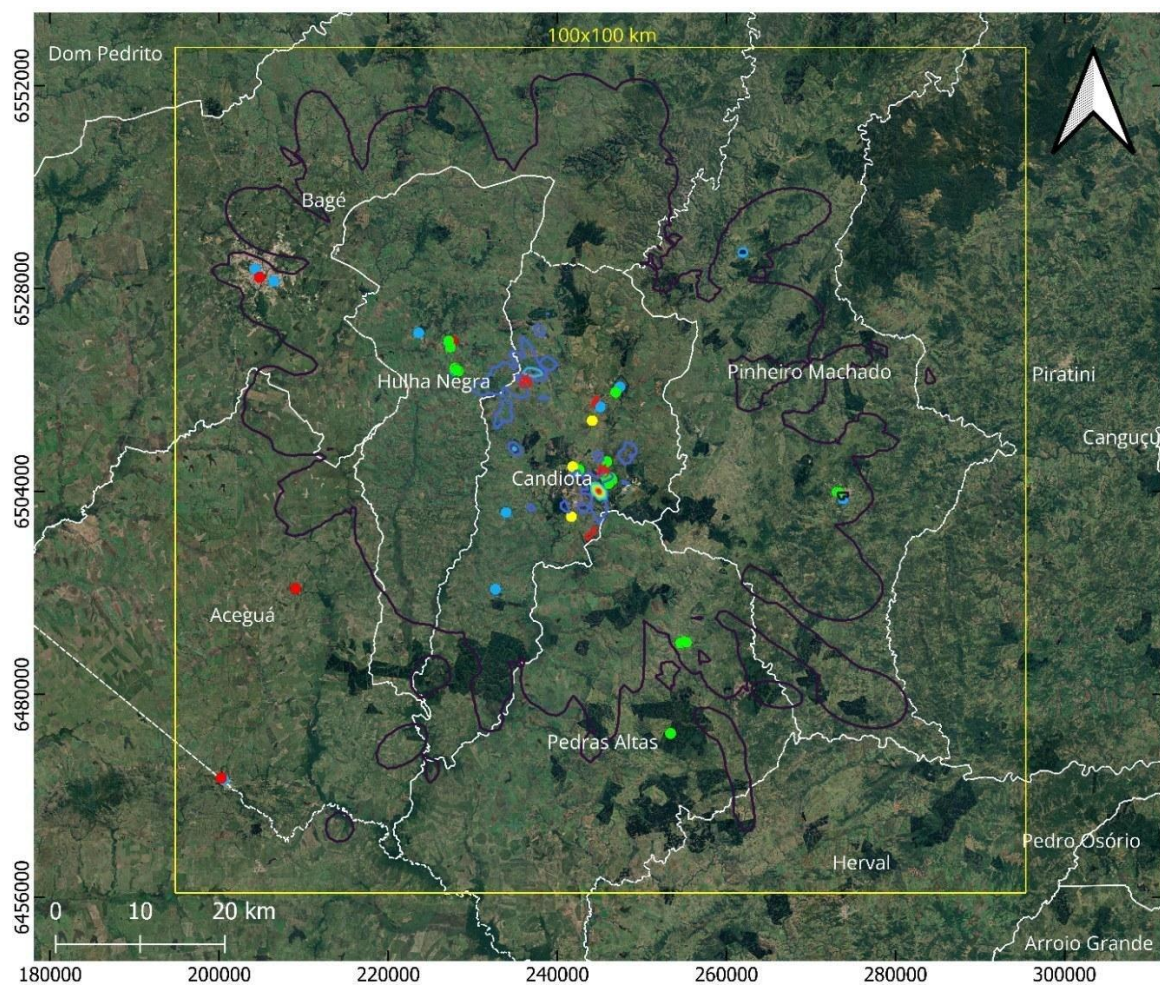
1 RANK 24 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (SO₂)

Max = 167 [µg/m³] at (X = 244900.00, Y = 6504033.00)

µg/m³



Figura 6 – Cenário D (UTE Candiota III a 350 MW, Pampa Sul 1 e minas): isolinhas da média de 24 h de SO₂ em 2025, com máximo de 167 µg/m³, o maior da série.
Fonte: Anexo VI – Cenário D (Mapa 27).



Legenda

CANDIOTA III
(2x) PAMPA SUL

SSM CRM

Pontos receptores

Escola

Hospital

Lazer

Estação de qualidade de ar

**Isolinhas de concentração de NOX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Máxima 1 hora
Cenário F – Ano 2025**

1 RANK DAILY PEAK 1 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NOX)
Max = 1349 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] at (X = 244906.00, Y = 6504033.00)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$

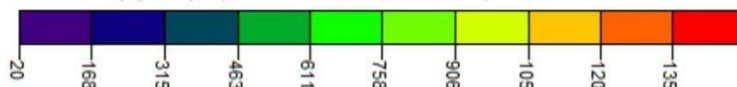


Figura 7 – Cenário F (configuração futura, com Pampa Sul 1 e 2): isolinhas do máximo de 1 h de NOx em 2025. *Fonte: Anexo VI – Cenário F (Mapa 29).*

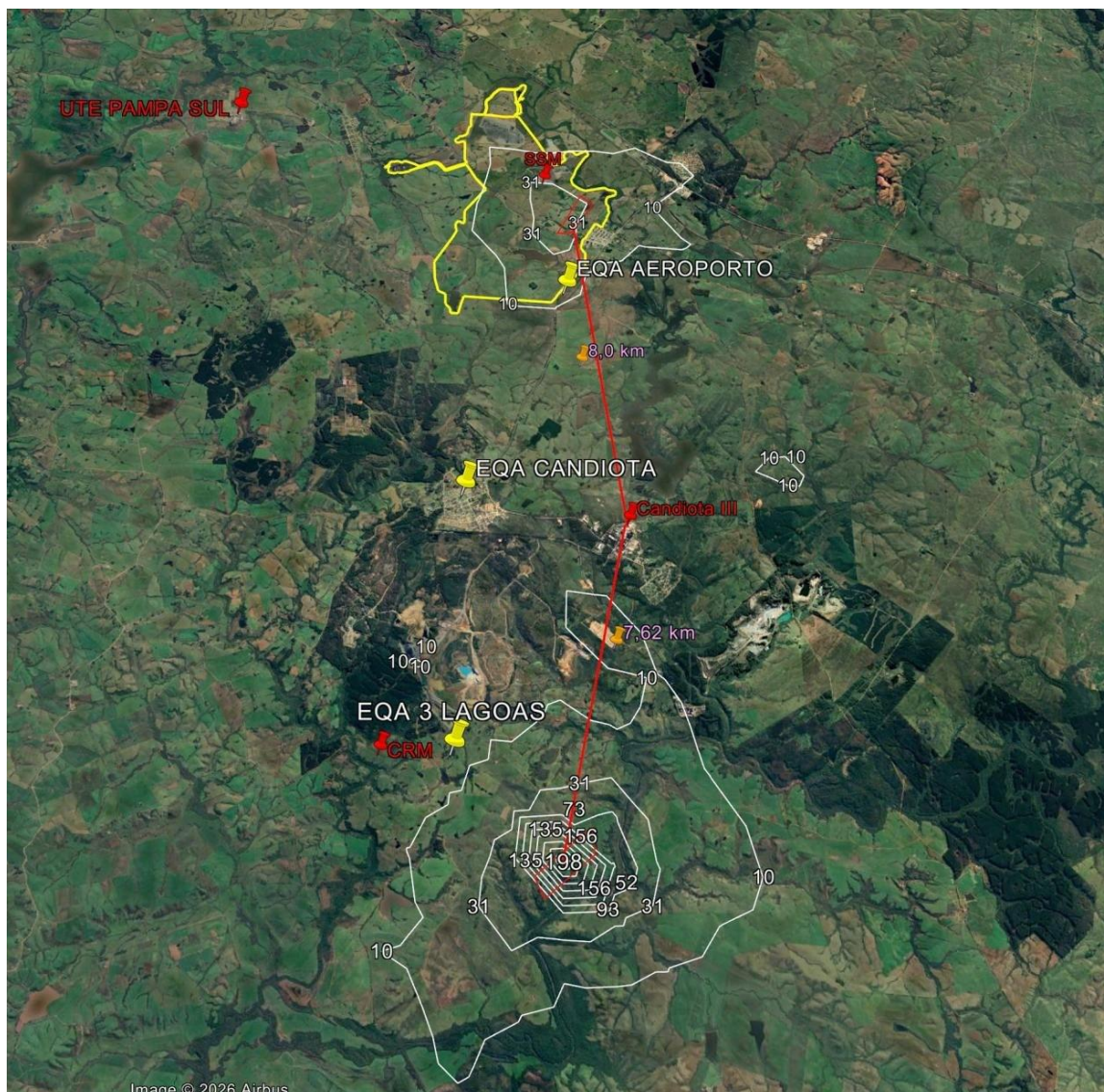


Figura 8 – Detalhe das isolinhas de MP10 (média de 24 h) em 2025 no Cenário D: o núcleo de máximo, de cerca de 198 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, fica sobre a área de lavra da CRM, a cerca de 7,6 km da UTE Candiota III, com as estações Aeroporto, Candiota e Três Lagoas indicadas. *Fonte: Anexo VI – Cenário D.*

Síntese do Anexo VI. Em todos os cenários, as médias anuais de SO_2 e NO_2 ficam muito abaixo dos padrões da Resolução CONAMA 506/2024. Os poluentes emitidos pelas chaminé têm efeito de curto prazo e decorre de poucos dias de baixa capacidade de dispersão, sem a relação direta com a carga total emitida no ano. O MP10, ao contrário, vem das áreas de mineração e governa o comportamento de longo prazo. As ultrapassagens em receptores discretos se concentram em cinco datas específicas de 2021 a 2023 (6/fev/2021; 6/mai e 30/jul/2022; 30/jan e 28/out/2023), no entorno

imediatamente da UTE Candiota III, entre 1,1 e 3,3 km. As contagens de ultrapassagem se referem aos dez maiores valores tabulados por ano.

8. Diagnóstico Meteorológico dos Dias Críticos – Anexos VII e VII-1

Anexo VII. O anexo identifica e descreve os **90 dias** de 2021–2025 (85 fichas) em que a capacidade de dispersão esteve abaixo do esperado. Para cada dia são dados a situação sinótica, a estrutura da camada limite e a ventilação. Os dados vêm de reanálise ERA5 (0,25°), radiossondagens de Santa Maria e estações vizinhas, TSM e índice ONI da NOAA e estações do INMET. A métrica central é o coeficiente de ventilação ($CV = \text{altura da camada de mistura} \times \text{vento a 100 m}$), com boa ventilação acima de 6.000 m²/s, condição desfavorável abaixo de 2.000 m²/s e crítica abaixo de 1.000 m²/s.

Tabela 11 – Capacidade de ventilação por padrão sinótico nos 90 dias críticos (2021–2025).

Padrão sinótico	Dias	CV (mediana)	Camada de mistura na madrugada (mediana)
Anticiclone / crista	37	1.350 m ² /s	113 m
Pós-frontal	29	903 m ² /s	79 m
Frontal	9	2.092 m ² /s	186 m
Pré-frontal	6	2.966 m ² /s	197 m
Baixa pressão	6	2.114 m ² /s	213 m
Cavado	3	2.337 m ² /s	274 m

Fonte: Anexo VII (Tabela 93). CV = coeficiente de ventilação; medianas sobre os dias de cada padrão.

Principais resultados:

- **Nenhum** dos 90 dias atinge boa ventilação. A mediana do CV é de 1.558 m²/s, e 55 dias ficam abaixo de 2.000 m²/s.
- A camada de mistura na madrugada tem mediana de 141 m e fica **abaixo do topo da chaminé (200 m) em 58 dos 90 dias**. A pluma fica acima da camada de mistura à noite e é trazida ao solo pela erosão matinal da inversão. Essa fumigação matinal explica os máximos horários de NO_x entre 9 h e 13 h nos cenários do Anexo VI.
- O regime anticiclônico (anticiclone/crista + pós-frontal) responde por **73%** dos casos.
- O problema não é só de inverno: o inverno tem 34% dos dias, mas verão e outono somam cerca da metade.

- As datas dos máximos simulados no Anexo VI coincidem com dias classificados como de ventilação Muito Desfavorável.
- Os 90 dias são **4,9% dos 1.826 dias** do período, em média 18 dias por ano, ou cerca de um dia a cada vinte. É nesses poucos dias que se concentram os máximos e as ultrapassagens do PI-2. Os padrões que os produzem podem ser previstos com 24 a 48 h de antecedência.

Anexo VII-1 – Evento de 5 de fevereiro de 2025. O anexo documenta o dia dos máximos absolutos da série (SO₂ de 152,37–166,85 µg/m³ em 24 h; NO_x de 1.456–1.597 µg/m³ às 23 h). Com temperatura máxima de 35,1 °C e a aproximação de uma frente pelo Uruguai, formou-se uma célula convectiva profunda (GOES-16) em ambiente de **corrente descendente úmida** (*wet microburst*). Os parâmetros foram DCAPE de 1.000 a 1.300 J/kg, déficit vertical de θ_e acima de 20 K e água precipitável de 45 a 55 mm, confirmados por recálculo independente a partir do IFS. Os METAR/SPECI de Bagé registram rajada de 66 km/h, queda de 9 °C em 17 minutos e giro do vento de cerca de 170°. Em seguida, a camada de mistura colapsou de **2.330 m para cerca de 320 m** e ficou entre 100 e 180 m durante toda a madrugada, com CV mínimo de 240 m²/s. A pluma ficou aprisionada numa camada rasa, saturada e quase sem vento, a pior condição de diluição dos cinco anos. A modelagem e o diagnóstico meteorológico, feitos de forma independente, apontam a mesma data e hora.

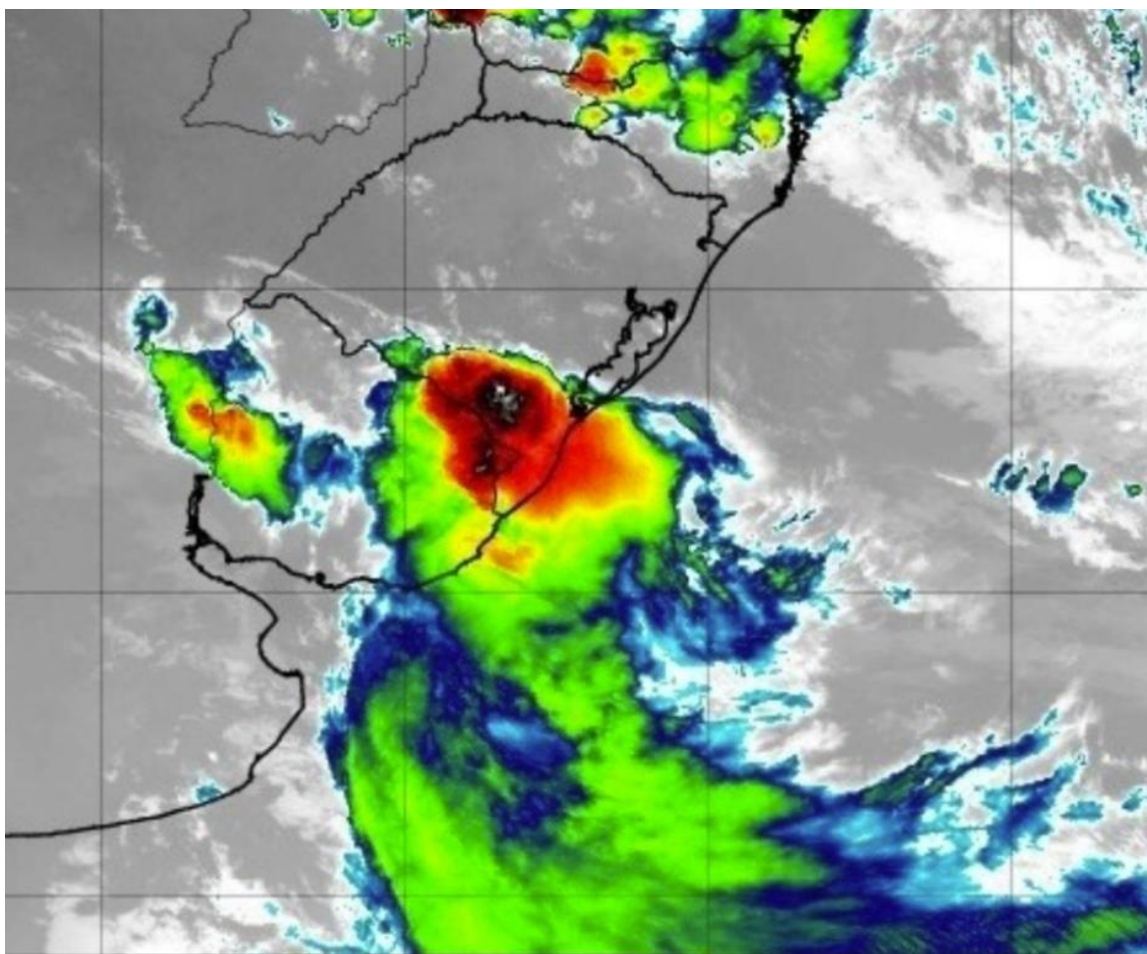


Figura 9 – Imagem do canal infravermelho do GOES-16 às 23 UTC de 5 de fevereiro de 2025: núcleo convectivo profundo sobre a região de Bagé–Candiota, no horário dos máximos absolutos de NOx simulados. *Fonte: Anexo VII-1 (Figura 1).*

9. Modelagem do Monóxido de Carbono (CO) – Anexo VIII

O CO é tratado em anexo próprio porque, entre as fontes inventariadas, só a UTE Candiota III tem emissão de CO declarada. Por isso foi usado o Cenário B: usina isolada a 320 MW, emissão contínua de **19 g/s** (599 t/ano), chaminé de 200 m e diâmetro de 5,5 m. O resultado foi comparado ao padrão da CONAMA 506/2024 de 9 ppm (10.000 µg/m³) na média móvel de 8 h. Para o CO, o PI-2 já coincide com o Padrão Final.

Tabela 12 – Máximos anuais de CO (média móvel de 8 h) simulados para a UTE Candiota III.

Ano	CO máx. 8 h (µg/m³)	Data	Distância da chaminé	% do padrão
2021	7,07	13/02	1,58 km OSO	0,071%
2022	9,28	11/12	1,58 km SSO	0,093%
2023	6,94	30/01	1,07 km NNE	0,069%
2024	6,29	30/05	2,92 km SSE	0,063%

Ano	CO máx. 8 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Distância da chaminé	% do padrão
2025	16,71	05/02	2,55 km SSO	0,167%

Fonte: Anexo VIII (Tabela 9). Padrão: $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (9 ppm).

Conclusão do anexo. A conformidade é integral em todos os anos, em todos os pontos e em todos os episódios. O maior valor de toda a série fica cerca de 600 vezes abaixo do padrão, uma margem de três ordens de grandeza, e o CO não é condicionante da qualidade do ar na região. Os máximos ocorrem nas mesmas datas e pontos dos máximos de SO_2 do Cenário B. A razão CO/ SO_2 é estável (0,107, com dispersão abaixo de 5%), o que verifica a coerência interna da modelagem. O valor de 2025 é 1,8 vez maior que o de qualquer outro ano por causa do evento de 5/02/2025: a causa é meteorológica, já que a emissão é constante.

10. Modelagem do Ozônio (O_3) – Anexo IX

O ozônio troposférico é um poluente secundário, formado por reações fotoquímicas entre NO_x , COV e CO sob radiação solar. Ele foi simulado para todo o ano de 2024 com o modelo fotoquímico **CAMx**, recomendado pela U.S. EPA e alimentado pelo WRF. O cenário considera a UTE Candiota III isolada, equivalente ao Cenário B, com 227 g/s de NO_x e 19,61 g/s de CO. O resultado foi comparado ao padrão da CONAMA 506/2024 para a média móvel de 8 h (MM8h): PI-2 de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e Padrão Final de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Resultados da modelagem. O máximo simulado foi de **$94,886 \mu\text{g}/\text{m}^3$** em 07/01/2024 às 11 h, ou 73,0% do PI-2. Nos 37 receptores discretos, o maior valor foi de $92,283 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (71,0%). Todos os valores se classificam como “**N1 – Boa**” no IQAr, com conformidade em todos os meses e estações. O comportamento é típico de poluente fotoquímico: máximos no verão e na primavera, mínimos no inverno e picos entre 10 h e 14 h. A diferença entre o maior e o menor máximo mensal é de apenas 13,6%.

Comparação com o observado (Estação 3 Três Lagoas, 2024). A série de 2024 tem 91,3% de dados válidos (8.018 h).

Tabela 13 – Ozônio em 2024: máximos simulados (CAMx) e observados na Estação 3 Três Lagoas (MM8h).

Indicador (MM8h)	Simulado (CAMx)	Observado (Três Lagoas)
Máximo anual	$94,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (07/01, 11 h)	$156,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (20/03, 23 h)
% do PI-2 (130)	73,0%	120,5%

Indicador (MM8h)	Simulado (CAMx)	Observado (Três Lagoas)
Dias acima do Padrão Final (100)	0	7 dias em 3 episódios
Máxima diária fora dos episódios	–	$\leq 94,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mediana anual de 60,0)

Fonte: Anexo IX (Tabela 6) e dados horários da Estação 3 Três Lagoas.

A modelagem reproduz a ordem de grandeza dos máximos em condições típicas, mas não reproduz os episódios. Os episódios observados foram 20–21/mar, 20–24/set e 30/set–1/out. A única ultrapassagem do PI-2, em 20/03, também supera o PI-1 (140). Nos dois episódios mais intensos, os valores altos persistem durante a noite, quando não há produção fotoquímica, e a série é interrompida logo depois. Por isso esses registros devem ser confirmados com o operador da rede antes de serem tratados como ultrapassagem formal.

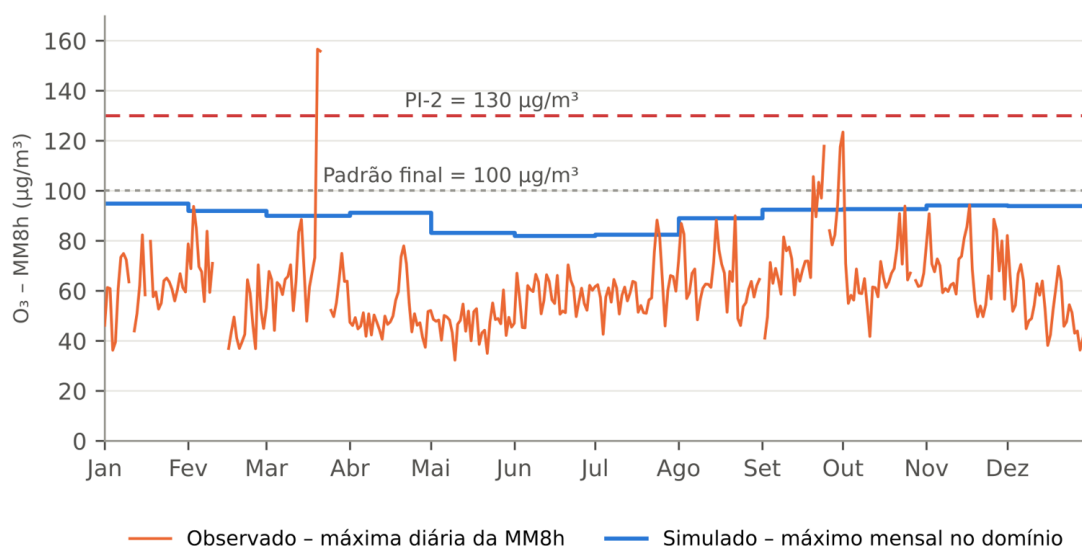


Figura 10 – Ozônio em 2024: máxima diária da MM8h observada na Estação 3 Três Lagoas e máximo mensal simulado pelo CAMx, com o PI-2 ($130 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e o Padrão Final ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Fonte: Anexo IX (Figura 2).

Conclusão do anexo. A contribuição simulada da UTE Candiota III para o ozônio atende ao PI-2 com folga. As medições, porém, indicam episódios regionais acima do Padrão Final, influenciados por transporte de precursores e por fontes não incluídas no cenário, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo do ozônio.

11. Justificativa de Fontes – Anexo X

O Anexo X documenta a delimitação das fontes de emissão adotada na modelagem. A partir do levantamento de licenças ambientais em vigor na FEPAM (24/10/2025)

para Candiota, Hulha Negra e Pedras Altas, foram avaliados os 70 empreendimentos licenciados que não foram incluídos no CALPUFF. Eles foram agrupados conforme a natureza das emissões (Tabela 14 e Figura 11).

Tabela 14 – Empreendimentos licenciados não incluídos na modelagem, por grupo de emissão.

Grupo	Empreendimentos	Emissão dos poluentes modelados	Avaliação
A – Sem emissão relevante	9: linhas de transmissão, subestação, parque eólico (licença de instalação), irrigação, efluente em solo, ETE e agrotóxicos	Nenhuma	Desprezível
B – Florestal e agrícola	45: silvicultura de eucalipto (44) e incorporação de resíduo em solo (1)	Poeira e gases de máquinas, intermitentes e ao nível do solo	Desprezível
C – Comércio e serviços	9: postos de combustíveis (6), transporte de produtos perigosos, vinícola e misturadora de fertilizantes (licença prévia)	Compostos orgânicos voláteis e gases de veículos, em pequena escala	Desprezível
D – Mineração de pequeno porte	5: recuperação de áreas mineradas da CRM (2), lavras de calcário (2) e pedreira com britagem (1)	MP10 fugitivo, descontínuo, ao nível do solo	Desprezível, efeito local
E – Resíduos e biogás	2: aterro sanitário e geração de energia com biogás de aterro	Metano e odor; NOx e CO de motores de pequeno porte	Desprezível
Total	70		

Fonte: Anexo X (FEPAM, licenças em vigor em 24/10/2025).



Figura 11 – Empreendimentos licenciados não incluídos na modelagem, por grupo de emissão: 54 dos 70 (77%) são silvicultura, agricultura ou atividades sem emissão dos poluentes modelados. Fonte: Anexo X (Figura 1).

Crêterios e escala. Os cr terios adotados foram a pertinência do poluente, a magnitude da emissão, o regime de emissão, a altura de lançamento e a situação do licenciamento. Nenhum desses empreendimentos tem fonte de combustão ou área de lavra comparável às fontes modeladas: a UTE Candiota III emite cerca de 16.300 t/ano de SO₂ e 7.200 t/ano de NO_x a 200 m de altura, e as três unidades termelétricas somam cerca de 14.600 t/ano de NO_x no Cenário F. O próprio estudo mostra que mesmo as minas de carvão da CRM e da SSM produzem ultrapassagens de MP10 confinadas às poligonais de lavra; lavras de porte muito menor têm efeito ainda mais restrito. Além disso, as estações de monitoramento já registram a contribuição real de todas essas atividades no fundo regional.

Conclusão do anexo. Os 70 empreendimentos são fontes desprez veis de emissão atmosférica quando comparados às UTEs Candiota III e Pampa Sul e às minas de carvão da CRM e da SSM. Inclui-los não alteraria os máximos simulados, as ultrapassagens identificadas nem as conclusões do estudo.

12. Conclusões gerais e recomendações

12.1 Destaque: médias anuais modeladas frente ao PI-2 anual

Atenção: a avaliação de longo prazo mostra um quadro diferente do de curto prazo. Nos gases da chaminé as médias anuais ficam muito abaixo do padrão. Já o **MP10 anual se aproxima do PI-2 anual (35 µg/m³) em todos os cenários com mineração e o ultrapassa em 2025.**

Tabela 15 – Médias anuais modeladas (2021–2025) frente ao PI-2 anual, por cenário.

Cenário	MP10 anual (PI-2 = 35)	SO ₂ anual (PI-2 = 30)	NO ₂ anual (PI-2 = 50)
A – sem Candiota III	23,2 a 58,4 (66% a 167%) — ultrapassa em 2025	0,53 a 0,76 (� 2,5%)	0,53 a 0,76 (� 1,5%)
B – Candiota III isolada	0,31 a 0,42 (� 1,2%)	2,04 a 2,70 (� 9%)	0,81 a 1,23 (� 2,5%)
C – operação conjunta	21,1 a 58,6 (60% a 167%) — ultrapassa em 2025 (+67,4%)	2,21 a 2,88 (� 9,6%)	0,97 a 1,23 (� 2,5%)
D – Candiota III 350 MW	23,3 a 58,6 (67% a 167%) — ultrapassa em 2025 (+67,4%)	2,40 a 3,14 (� 10,5%)	1,05 a 1,34 (� 2,7%)
F – configuração futura	23,2 a 60,0 (66% a 171%) — ultrapassa em 2025 (+71,4%)	2,36 a 2,88 (� 9,6%)	1,26 a 1,91 (� 3,8%)

Concentrações em µg/m³; entre parênteses, a fração do PI-2 anual. Os valores são as médias anuais máximas na malha de cálculo de 2021 a 2025. O Cenário E (dias isolados), o CO e o O₃ não têm padrão anual aplicável.

Fonte: Anexo VI, volumes A a F.

MP10 anual supera o PI-2 anual só em 2025, em todos os cenários com mineração

Média anual máxima na malha de cálculo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Cenários A, C, D e F; barras em azul = acima do PI-2 anual

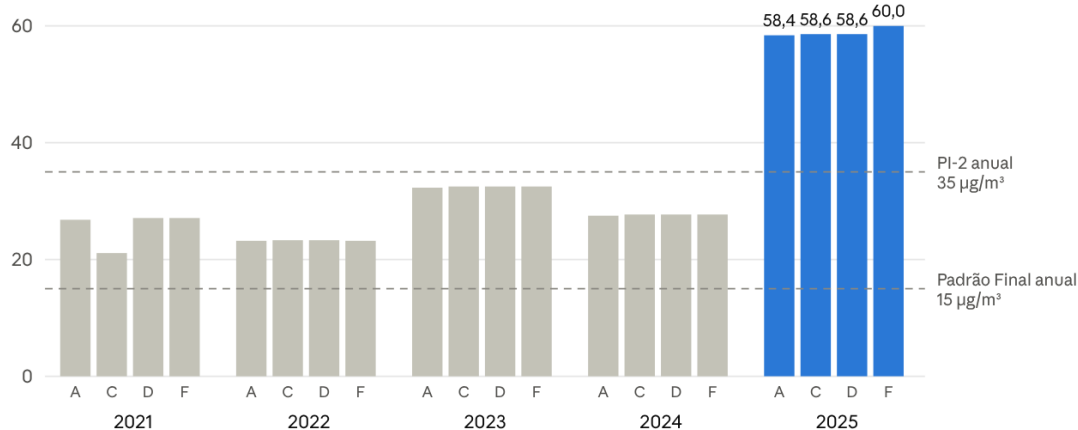


Figura 12 – Média anual máxima de MP10 por ano e cenário, frente ao PI-2 anual ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e ao Padrão Final anual ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Em 2023 os valores chegam a cerca de 93% do PI-2 anual; em 2025, todos os cenários com mineração o ultrapassam.

Fonte: elaborado a partir do Anexo VI.

O que se destaca:

- **MP10 é o único poluente que ultrapassa o PI-2 anual.** Isso ocorre em 2025 nos Cenários A, C, D e F, com valores de $58,4$ a $60,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de 1,7 vez o padrão. Os máximos ficam sobre as áreas de lavra, entre 5 e 10 km de distância da UTE Candiota III.
- **A margem é pequena também fora de 2025.** Em 2023 a média anual chegou a $32,3$ – $32,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cerca de 93% do PI-2 anual, e em 2021 e 2024 ficou perto de 77–79%. Pequenos aumentos na atividade de lavra podem levar a novas ultrapassagens.
- **Frente ao Padrão Final de MP10 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), todos os cenários com mineração ficam acima em todos os anos**, de 1,4 a 4 vezes o valor. Quando o PF entrar em vigor, a conformidade anual do MP10 exigirá redução significativa das emissões fugitivas das minas.
- **A UTE Candiota III não é a origem do problema anual de MP10.** Isolada (Cenário B), ela contribui com no máximo 1,2% do PI-2 anual. O Cenário A, sem a usina, já ultrapassa o padrão.

- **SO₂ e NO₂ têm folga ampla no longo prazo.** Em nenhum cenário passam de 10,5% (SO₂) e 3,8% (NO₂) do PI-2 anual, e ficam também abaixo dos Padrões Finais anuais. Para esses gases, o problema é só de curto prazo (24 h e 1 h).
- **Tendência de alta.** Em todos os cenários as médias anuais de 2025 são as maiores da série. O MP10 dobrou de 2024 para 2025 (cerca de 27,7 para 58,6 µg/m³), e o NO₂ do Cenário F subiu 52% entre 2021 e 2025.

12.2 Destaque: médias de 24 horas modeladas frente ao PI-2 de 24 horas

Atenção: no curto prazo o quadro se inverte em relação às médias anuais. Os gases da chaminé, que têm folga ampla no longo prazo, são os que mais ultrapassam o padrão: **o SO₂ supera o PI-2 de 24 horas (50 µg/m³) em todos os anos nos cenários B, C, D e F.** O MP10 das áreas de mineração também ultrapassa o PI-2 de 24 horas (100 µg/m³) em quatro dos cinco anos.

Tabela 16 – Máximos de curto prazo modelados (2021–2025) frente ao PI-2, por cenário.

Cenário	MP10 24 h (PI-2 = 100)	SO ₂ 24 h (PI-2 = 50)	NO _x 1 h (PI-2 de NO ₂ = 240)
A – sem Candiota III	86,6 a 197,7 (87% a 198%) — ultrapassa em 4 de 5 anos, só nas áreas de lavra	11,2 a 31,7 (≤ 63%) — não ultrapassa	máx. 326,5 (136%) — uma única hora, em 2022
B – Candiota III isolada	9,5 a 23,5 (≤ 24%) — não ultrapassa	61,2 a 152,4 (122% a 305%) — ultrapassa em 5 de 5 anos	289,5 a 1.456,6 (121% a 607%) — ultrapassa em 5 de 5 anos
C – operação conjunta	86,6 a 197,7 (87% a 198%) — ultrapassa em 4 de 5 anos	63,1 a 152,4 (126% a 305%) — ultrapassa em 5 de 5 anos	289,6 a 1.456,8 (121% a 607%) — ultrapassa em 5 de 5 anos
D – Candiota III 350 MW	86,6 a 197,7 (87% a 198%) — ultrapassa em 4 de 5 anos	68,9 a 166,9 (138% a 334%) — ultrapassa em 5 de 5 anos	317,5 a 1.597,5 (132% a 666%) — ultrapassa em 5 de 5 anos
E – partidas e paradas	2,7 (3%) — não ultrapassa	29,5 (59%) — não ultrapassa	9,1 (4%) — não ultrapassa
F – configuração futura	86,6 a 206,0 (87% a 206%) — ultrapassa em 4 de 5 anos	64,9 a 152,5 (130% a 305%) — ultrapassa em 5 de 5 anos	322,1 a 1.456,8 (134% a 607%) — ultrapassa em 5 de 5 anos

Concentrações em µg/m³; entre parênteses, a fração do PI-2 de curto prazo. Faixas dos máximos anuais na malha de cálculo de 2021 a 2025 (MP10 e SO₂: média de 24 h; NO_x: máximo de 1 h, comparado ao padrão de NO₂ com conversão integral). O Cenário E corresponde a 15 dias de partidas, paradas e situações transitórias.

Fonte: Anexo VI, volumes A a F (tabelas-síntese).

O que se destaca:

- **No curto prazo, os gases da chaminé exercem maior influência na qualidade do ar.** O SO₂ ultrapassa o PI-2 de 24 horas em todos os anos nos Cenários B, C, D e F, com máximo de 166,9 µg/m³ (3,3 vezes o padrão) no Cenário D em 2025. Sem a UTE Candiota III (Cenário A) ou apenas em manobras (Cenário E), o SO₂ fica abaixo do padrão.
- **O NO_x supera o padrão horário de NO₂ em todos os anos dos Cenários B a F,** chegando a 6,7 vezes o padrão (1.597,5 µg/m³, Cenário D, 2025). Com a Pampa Sul 2 (Cenário F), os dez maiores valores de cada ano superam o PI-2 de 2022 a 2025. A comparação é conservadora, pois considera conversão integral de NO_x em NO₂ (ver Figura 4).
- **O MP10 de 24 horas ultrapassa o PI-2 em 4 dos 5 anos nos cenários com mineração** (2021, 2023, 2024 e 2025), com máximo de 206,0 µg/m³ no Cenário F em 2025. As ultrapassagens ficam sobre as poligonais de lavra. A UTE Candiota III isolada (Cenário B) chega a no máximo 24% do padrão; 2022 é o único ano sem ultrapassagem.
- **O contraste com as médias anuais mostra um impacto episódico.** SO₂ e NO₂ ficam em no máximo 10,5% e 3,8% dos PI-2 anuais, mas chegam a 3 a 7 vezes os padrões de curto prazo em poucos dias de dispersão muito desfavorável, cerca de 18 por ano (Anexo VII). Os máximos absolutos ocorreram no evento de 5 de fevereiro de 2025 (Anexo VII-1).
- **Receptores da população são atingidos em poucas datas.** As ultrapassagens de curto prazo em receptores discretos somam de 13 a 18 ocorrências, concentradas em cinco datas de 2021 a 2023, entre 1,1 e 3,3 km da chaminé da UTE Candiota III.

12.3 Conclusões integradas

1. **A qualidade do ar na região é determinada por episódios meteorológicos, e não pela carga média emitida.** Em todos os cenários, as médias anuais de SO₂ e NO₂ ficam abaixo de cerca de 11% dos padrões anuais. As ultrapassagens de curto prazo se concentram em poucos dias de baixa capacidade de dispersão: os 90 dias críticos do Anexo VII, ou 4,9% dos 1.826

dias do período, cerca de 18 por ano. A modelagem (Anexo VI) e o diagnóstico meteorológico (Anexo VII), feitos de forma independente, apontam as mesmas datas.

2. **O SO₂ e o NO_x da UTE Candiota III são os poluentes determinantes no curto prazo.** O PI-2 de 24 h do SO₂ é ultrapassado em todos os anos nos cenários B, C, D e F, com máximo de 166,85 µg/m³ no Cenário D. O padrão horário de NO₂ é superado em todos os anos, com máximo de 1.597,50 µg/m³ no Cenário D, valor que é conservador por assumir conversão integral de NO_x. Com a entrada da Pampa Sul 2 (Cenário F), o NO_x passa a ser o poluente dominante, com máximos entre 11 e 14 km a noroeste, em área sem receptores catalogados.
3. **O MP10 vem das áreas de mineração e governa o comportamento de longo prazo.** A UTE Candiota III isolada contribui com menos de um quarto do PI-2 (Cenário B). Com as minas, o PI-2 de 24 h é superado sobre as poligonais de lavra, e a média anual chega a 58–60 µg/m³ em 2025, acima do PI-2 anual. As medidas de controle são operacionais e estão sob gestão direta dos empreendimentos.
4. **As ultrapassagens em receptores populacionais são pontuais e localizadas.** São de 13 a 18 ocorrências, em cinco datas entre 2021 e 2023 (e uma em 2025 no Cenário F), que atingem escolas, hospitais, um posto de saúde e áreas de lazer entre 1,1 e 3,3 km da chaminé. No Cenário A, sem a UTE Candiota III, nenhum receptor é afetado.
5. **O mecanismo físico dos máximos é conhecido.** A camada de mistura noturna fica abaixo dos 200 m da chaminé em 58 dos 90 dias críticos, o que produz fumigação matinal entre 8 h e 13 h. O regime anticiclônico e pós-frontal responde por 73% dos casos. O evento de 5/02/2025, uma corrente descendente úmida seguida do colapso da camada de mistura de 2.330 m para cerca de 320 m, gerou os máximos absolutos de toda a série.
6. **As partidas, paradas e situações transitórias não geram ultrapassagens** (Cenário E). O máximo foi de 59% do PI-2 de SO₂.
7. **CO e O₃ atendem aos padrões na modelagem.** O CO chega a no máximo 0,167% do padrão. O O₃ simulado chega a 73% do PI-2, mas a Estação Três Lagoas registrou 156,61 µg/m³ em 20/03/2024 e 7 dias acima do Padrão Final, dados que ainda precisam ser validados com o operador da rede.

8. **Os resultados são conservadores, mas também têm incertezas no sentido oposto.** A operação contínua a plena carga e a conversão integral de NOx superestimam as concentrações. Em sentido contrário, o CALPUFF tende a subestimar picos de curta duração justamente nas condições de estagnação. Além disso, as contagens de ultrapassagem são um limite inferior, porque consideram apenas os dez maiores valores tabulados por ano.
9. **A delimitação das fontes é tecnicamente adequada (Anexo X).** Os 70 demais empreendimentos licenciados em Candiota, Hulha Negra e Pedras Altas, 63% deles de silvicultura, são fontes desprezíveis frente às UTEs e às minas de carvão, e sua inclusão não alteraria os resultados nem as conclusões do estudo.
10. **A Rede atual de Monitoramento da Qualidade do Ar e Condições Meteorológicas da UTE Candiota III é adequada.** Sua distribuição espacial e operação contínua garantem uma avaliação representativa dos impactos ambientais das emissões atmosféricas da UTE Candiota III no entorno do empreendimento. Sua operação, em tempo real, deve ser utilizada como suporte de gestão ambiental à operação da Usina.

13. Considerações finais

O conjunto dos dez anexos forma uma base técnica consistente para avaliar a qualidade do ar na região da UTE Candiota III. Ele diagnostica com clareza dois problemas de natureza diferente. O primeiro é de **curto prazo**: SO₂ e NO_x das usinas ultrapassam o PI-2 em poucos dias de dispersão desfavorável, previsíveis com antecedência. O segundo é de **longo prazo**: o MP10 das áreas de mineração se aproxima do PI-2 anual e o ultrapassa em 2025, além de ficar acima do Padrão Final em todos os anos. Cada problema pede respostas diferentes. Para o primeiro, gestão operacional guiada por previsão meteorológica. Para o segundo, redução permanente das emissões fugitivas das minas. O monitoramento contínuo da qualidade do ar e da camada limite é o elo que permite acompanhar ambos e confirmar os resultados do modelo. O Anexo X confirma que essa avaliação se concentra nas fontes que de fato determinam a qualidade do ar: as demais atividades licenciadas na região são fontes desprezíveis e já estão representadas no fundo regional medido pela rede de monitoramento.