

CARVÃO EM CANDIOTA

IMPACTOS À SAÚDE CAUSADOS
PELO POLO DE MINERAÇÃO
E GERAÇÃO DE ENERGIA A CARVÃO
NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

MARÇO 2026

Carvão em Candiota

Impactos à saúde causados pelo polo de mineração e geração de energia a carvão no Rio Grande do Sul, Brasil

Março de 2026

Autores

Vera Tattari

Kaiyu Chen

Jamie Kelly

Colaboradores

Instituto Internacional ARAYARA

Juliano Bueno de Araujo

Daniela Barros

Joubert Fuscaldi

John Wurdig

Urias Neto

Editor

Hannah Ekberg

Tradução

Zuleica Nycz

Sobre o CREA

O Centro de Pesquisa sobre Energia e Ar Limpo (CREA) é uma organização de pesquisa independente focada na revelação de tendências, causas e impactos à saúde, assim como em soluções para a poluição do ar. O CREA usa dados científicos, pesquisa e evidência para apoiar os esforços dos governos, empresas e organizações que promovem campanhas em todo o mundo, na sua determinação de avançar em direção à energia limpa e ar limpo, acreditando que pesquisa e comunicação efetivas são a chave para elaboração de políticas bem sucedidas, tomadas de decisão em investimentos, e esforços de advocacy. O CREA foi fundado em Helsinki e tem equipes atuando em vários países da Ásia e Europa.

Sobre a ARAYARA

O instituto internacional ARAYARA é uma organização da sociedade civil sem fins lucrativos (OSC), nascida de uma parceria entre cientistas, gestores urbanos, engenheiros, urbanistas e ambientalistas. Acreditamos que, para alcançar uma sociedade mais segura e que valorize a qualidade de vida de seus cidadãos, é necessário garantir que todos os recursos sejam utilizados e distribuídos de forma ampla, justa e sustentável.

Há 30 anos, promovemos mudanças sociais por meio da educação ambiental e do ativismo político, na busca por um uso mais eficiente das fontes de energia e pela garantia do amplo direito à terra. Atuamos em todas as regiões do Brasil, temos um escritório no Uruguai e desenvolvemos uma série de iniciativas na América Latina e na América Central.

Isenção de responsabilidade

O CREA é politicamente independente. As designações utilizadas e a apresentação do material nos mapas contidos neste relatório não implicam a expressão de qualquer opinião sobre a situação jurídica de qualquer país, território, cidade ou área, ou das suas autoridades, nem sobre a delimitação das suas fronteiras ou limites.

Carvão em Candiota

Impactos à saúde causados por um polo de mineração e geração de energia a carvão no Rio Grande do Sul, Brasil

Principais conclusões

Neste estudo, quantificamos os impactos à saúde e econômicos da poluição do ar em um polo de quatro projetos independentes de carvão em Candiota, Rio Grande do Sul, Brasil: a mina de carvão de Candiota fornece para a usina termelétrica a carvão Candiota III, e a mina de carvão Seival Sul fornece para a usina termelétrica a carvão Pampa Sul.

- Os resultados deste relatório apontam para uma estimativa de 430 (330–550) mortes prematuras e R\$ 5,1 bilhões (3,5–6,3)¹¹ em danos econômicos relacionados à saúde decorrentes do uso de carvão em Candiota no período de 2017 a 2025.
- Se este polo continuar a operar até 2040, estimamos que causará 870 (670-1.110) mortes prematuras adicionais e 6.6 (5.3-8.9) bilhões de reais de danos econômicos relacionados com a saúde, atingindo um total cumulativo estimado de 1.300 mortes e R\$ 11,7 bilhões no período de 2017 a 2040, grande parte disso seria evitável através de um phase-out antecipado da operação.
- As populações mais afetadas concentram-se em cidades de países vizinhos, especialmente na Argentina, seguida pelo Uruguai. As maiores e mais impactadas cidades são Buenos Aires, Rosário e Santa Fé, na Argentina, e Montevideú, no Uruguai. As maiores cidades do Brasil, como Rio de Janeiro e São Paulo, estão geograficamente mais distantes de Candiota, o que faz com que a população brasileira seja menos afetada do que a argentina. A população argentina é a mais impactada pelos projetos de carvão em Candiota, seguida por Brasil, Uruguai e Paraguai.

¹ Os intervalos representam os limites superior e inferior do intervalo de confiança de 95% das funções de dose resposta dos poluentes.

-
- Esta avaliação de impacto à saúde (AIS) indica que a continuidade do apoio público à mineração de carvão e a geração de energia a carvão em Candiota causa danos substanciais e amplamente evitáveis à saúde pública, e que um phase-out antecipado reduziria significativamente os danos associados à saúde e econômicos.

Sumário

Principais conclusões	3
Sumário	5
Introdução	6
Resultados	7
Resultados adversos no parto	8
Impactos à saúde relacionados com asma	9
Perdas da produtividade da força de trabalho	9
Mortalidade	10
Os custos econômicos dos danos à saúde	10
Impactos transfronteiriços	11
Conclusões	12
Recomendações de políticas públicas	12
Metodologia	15
Emissões	16
Modelo de qualidade do ar (CALPUFF)	17
Avaliação do impacto à saúde e econômico	20
Anexo 1	26
Mina de carvão de Candiota	26
Usina a carvão Candiota III	26
Mina de carvão Seival Sul	27
Usina a carvão Pampa Sul	28
Anexo 2	29
Anexo 3	32
Anexo 4	35
Anexo 5	36
Referências	39

Introdução

Embora a maior parte da eletricidade do Brasil seja gerada por energia hidráulica e recursos renováveis, o carvão continua a receber apoio público (Discovery Alert, 2025). Em Candiota, no estado do Rio Grande do Sul, um aglomerado de minas de carvão e usinas termelétricas queimam carvão de baixa qualidade, gera uma parte pequena da eletricidade, e continua elegível para receber subsídios e prorrogações de contrato que podem mantê-lo em operação até 2040 ou além (GEM, 2026a).

Em 2026, Candiota está no centro da mineração de carvão e da geração termelétrica a carvão. Quatro projetos independentes de carvão operam na região de Candiota: as minas de carvão de Candiota (1,46 MTPA) e Seival Sul (1,6 MTPA), e as usinas termelétricas a carvão Candiota III (350 MW) e Pampa Sul (345 MW) (Figura 1). Esses quatro projetos funcionam como um conjunto operacional único de quase 700 MW e mais de 3 MTPA, no qual o carvão extraído das minas é praticamente todo queimado nas usinas termelétricas associadas próximas: a mina de carvão Seival Sul abastece a usina termelétrica Pampa Sul, e a mina de carvão de Candiota abastece a usina termelétrica Candiota III.

Localização dos projetos de carvão explorados neste estudo

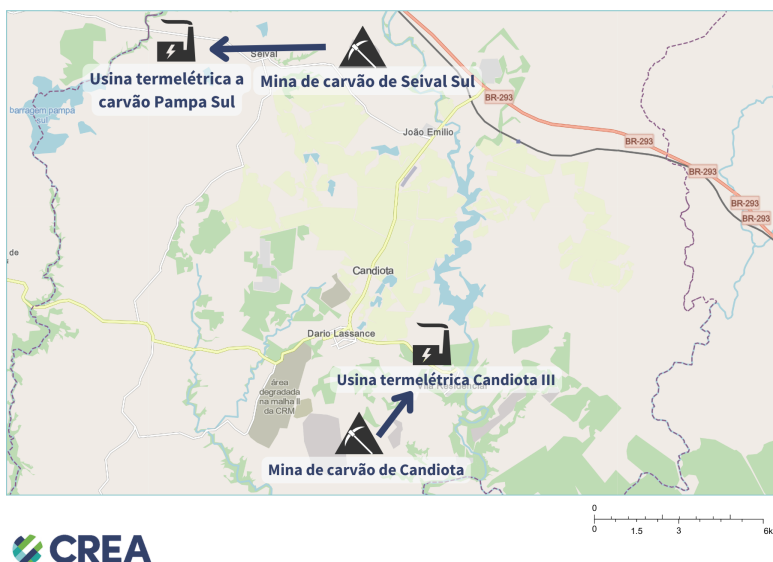


Figura 1 — Mapa do município de Candiota, Brasil, indicando a localização da mina de carvão de Candiota, que serve a usina termelétrica Candiota III, e a mina de carvão de Seival Sul, que serve a usina termelétrica a carvão Pampa Sul

O Rio Grande do Sul detém 53% da produção de carvão do país, e 89% de suas reservas de carvão (USGS, 2006). A continuidade da operação a carvão em Candiota pode causar implicações para as comunidades locais e a saúde pública. O carvão brasileiro caracteriza-se por baixo valor calorífico e alto conteúdo de cinzas (USGS, 2006), e quando queimado resulta em elevadas emissões de material particulado fino ($PM_{2.5}$) e gases precursores. As emissões surgem não apenas da combustão nas usinas termelétricas, mas também durante a extração do carvão, manuseio e transporte, levando à exposição cumulativa pelas populações do entorno. Em nível global, a poluição atmosférica do carvão é um fator de risco bem estabelecido para mortalidade prematura (McDuffie et al., 2021).

Este relatório quantifica os impactos cumulativos da poluição do ar, os impactos à saúde e econômicos atribuíveis às operações de carvão em Candiota, tanto os impactos históricos de 2017 até 2025 como os impactos futuros de 2026 a 2040. Ao avaliar as minas e as usinas de energia de carvão como um sistema integrado, a análise captura todo o ônus imposto às populações afetadas, inclusive mortes, morbidade por asma, resultados adversos no parto, e as perdas econômicas. A metodologia completa está disponível na seção de Metodologia no final do relatório.

Resultados

A Tabela 1 mostra os impactos históricos (2017–2025) e futuros (2026–2040) sobre a qualidade do ar de todos os quatro projetos de carvão em Candiota: a mina de carvão de Candiota que serve a usina termelétrica a carvão Candiota III, e a mina de carvão de Seival, que serve a usina termelétrica a carvão Pampa Sul. Os resultados para cada aglomerado individual dentro de Candiota são apresentados no Anexo 5 deste relatório.

Tabela 1 — Impactos econômicos e à saúde pública pela poluição causada pelo uso do carvão em Candiota

Resultado de Saúde	Dados históricos 2017–2025	Dados futuros 2026–2040
Baixo peso no nascimento	100 (30–180)	170 (50–290)
Partos prematuros	180 (80–190)	280 (140–300)
Visitas ao atendimento de emergência por asma	610 (360–860)	1,120 (670–1,560)
Novos casos de asma em crianças	70 (20–170)	120 (30–270)
Faltas no trabalho (por milhão de dias afastados por doença)	170 (150–200)	340 (290–390)
Óbitos	430 (330–550)	870 (670–1110)
Custo econômico (em bilhão de dólares - USD)	1.0 (0.7–1.2)	1.3 (1.1–1.8)
Custo econômico (em bilhão de Reais)	5.1 (3.5–6.3)	6.6 (5.3–8.9)

Resultados adversos no parto

Os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde humana começam antes do nascimento. Tanto as mulheres grávidas como os recém-nascidos estão expostos ao risco devido às emissões do carvão. A exposição aos poluentes pode levar a resultados adversos no parto, o que inclui baixo peso no nascimento, um fator de risco para questões de saúde de longo prazo. A poluição do ar pelo uso de carvão em Candiota entre 2017 e 2025 leva a uma estimativa de 100 (30-180) nascimentos com baixo peso e 180 (80–190) partos prematuros (Tabela 1). Esses resultados não só afetam a saúde imediata dos bebês, mas também podem trazer implicações de longo prazo na saúde e no desenvolvimento, pressionando adicionalmente o sistema de saúde e as pessoas impactadas. Projeta-se que o uso futuro do carvão (2026-2040) nesta região causará 166 (51-290) nascimentos de baixo peso e 280 (140-300) partos prematuros (Tabela 1).

Impactos à saúde relacionados com asma

O uso do carvão exacerba os sintomas da asma, levando a um número crescente de visitas ao atendimento de emergência. O uso histórico do carvão em Candiota (2017–2025) tem contribuído para 610 (360–860) visitas ao atendimento de emergência, e o uso futuro de carvão (2026–2040) é estimado em causar mais 1.120 (670–1.560) visitas ao atendimento de emergência (Tabela 1).

As crianças são particularmente vulneráveis aos impactos da poluição do ar. A poluição do ar decorrente do uso de carvão em Candiota levou a uma estimativa de 70 (20–170) novos casos de asma em crianças entre 2017 e 2025, e causará mais 120 (30–270) no futuro (2026–2040) (Tabela 1). Esses impactos evidenciam como o uso de carvão tem um efeito direto sobre os membros mais jovens e vulneráveis da sociedade.

Para os pacientes e sistemas de saúde, visitas a atendimento de emergência representam uma sobrecarga significativa, aumentando a demanda por recursos médicos tais como leitos hospitalares, oxigenoterapia e medicamentos. Esse ônus se estende para além da infraestrutura de saúde, uma vez que crises frequentes de asma podem interromper a rotina diária, levando a faltas escolares das crianças, e perda de produtividade dos responsáveis, que precisam se ausentar do trabalho para cuidar delas. Além disso, a sobrecarga econômica é sentida tanto em nível individual, por meio de despesas médicas e perdas de salário, quanto em nível social, por meio de custos mais elevados de assistência médica e de produtividade reduzida da força de trabalho, o que pressiona os sistemas públicos de saúde e as economias.

Perdas da produtividade da força de trabalho

O impacto da poluição se estende além dos efeitos diretos à saúde, impondo um ônus econômico significativo sobre a produtividade da força de trabalho. Estimamos que as emissões do uso de carvão em Candiota levaram a 170 (150–200) milhões de dias de faltas no trabalho devido à questões de saúde relacionadas com a poluição entre 2017 e 2025, e que o uso futuro do carvão levará a um adicional de 340 (290–390) milhões de faltas no trabalho até 2040 (Tabela 1). Essas faltas representam perda de produtividade, fluxos de trabalho interrompidos e redução da produção econômica em múltiplos setores.

Mortalidade

As emissões históricas pelo uso do carvão em Candiota também levaram a aproximadamente 430 (330–550) óbitos (Tabela 1). Isto representa uma das mais graves consequências da poluição causada pelo carvão. Das mortes causadas pelo $PM_{2.5}$, elas ocorrem principalmente devido ao câncer de pulmão, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), doença cardíaca isquêmica, AVC, e diabetes. O uso futuro do carvão (2026–2040) é estimado que causará um adicional de 870 (670–1110) óbitos nesta região (Tabela 1).

As populações vulneráveis, incluindo os idosos, crianças e aqueles com condições de saúde pré-existent, são desproporcionalmente afetados por esses poluentes. Os óbitos carregam profundos custos pessoais e sociais. As famílias perdem seus entes amados, enquanto as economias enfrentam produtividade reduzida e crescentes despesas com cuidados de saúde. O valor dessas vidas perdidas também reflete um imperativo moral mais amplo para abordar a poluição do ar de forma mais abrangente.

Os custos econômicos dos danos à saúde

Muitos dos impactos à saúde cobertos por este relatório têm um custo econômico para a sociedade. Por exemplo, as faltas no trabalho levam a perdas na produtividade que não afetam apenas os trabalhadores individualmente, mas também têm um efeito cascata de impactos nas economias nacionais. O aumento das ausências no trabalho sobrecarrega as empresas, reduz a eficiência da força de trabalho, e eleva os custos operacionais. Além disso, os custos associados à saúde compõem o ônus financeiro, criando uma dupla pressão sobre os setores privado e público. Finalmente, os óbitos enfraquecem significativamente a economia ao reduzir a força de trabalho, diminuindo a produtividade e aumentando os custos com cuidados de saúde. Muitos dos impactos à saúde estão associados a crescentes despesas médicas. A Agência Europeia de Meio Ambiente (EEA) estima que cada dia de ausência no trabalho na União Europeia custa 130 Euros (EEA, 2014).

A poluição do ar pelo uso histórico de carvão nesta região é estimado que tenha impactado gravemente a economia. Ao considerarmos os custos de saúde de vários resultados diferentes, o uso histórico de carvão em Candiota (2017–2025) é estimado que tenha causado danos econômicos de 5,1 (3,5–6,3) bilhões de reais, aproximadamente o equivalente a 1.000 (700–1.200) milhões de dólares (Tabela 1). Entre 2026 e 2040,

projetamos que a poluição atmosférica de Candiota vai levar a danos à saúde que custarão à economia 6,6 (5,3–8,9) bilhões de reais, equivalente a 1,3 (1,1–1,8) bilhões de dólares.

Impactos transfronteiriços

O uso de carvão em Candiota tem impactos em larga escala sobre a saúde pública, tanto para as comunidades locais como para regiões mais amplas, seja no Brasil, seja em países vizinhos. Muitos dos poluentes tóxicos liberados pelo carvão podem persistir na atmosfera por várias semanas, e podendo viajar por centenas de quilômetros.

As maiores cidades e a maior parte da população que vive próximo às minas de carvão e termoeletricas a carvão de Candiota, e consequentemente as populações mais afetadas, estão concentradas nos países vizinhos, especialmente na Argentina e Uruguai. As cidades mais impactadas são Buenos Aires, Rosário e Santa Fé na Argentina, e Montevideu no Uruguai. As maiores cidades no Brasil, fazendo com que a população no Brasil seja menos afetada do que a da Argentina.

Total de óbitos em diferentes regiões causados pelos projetos de carvão em Candiota

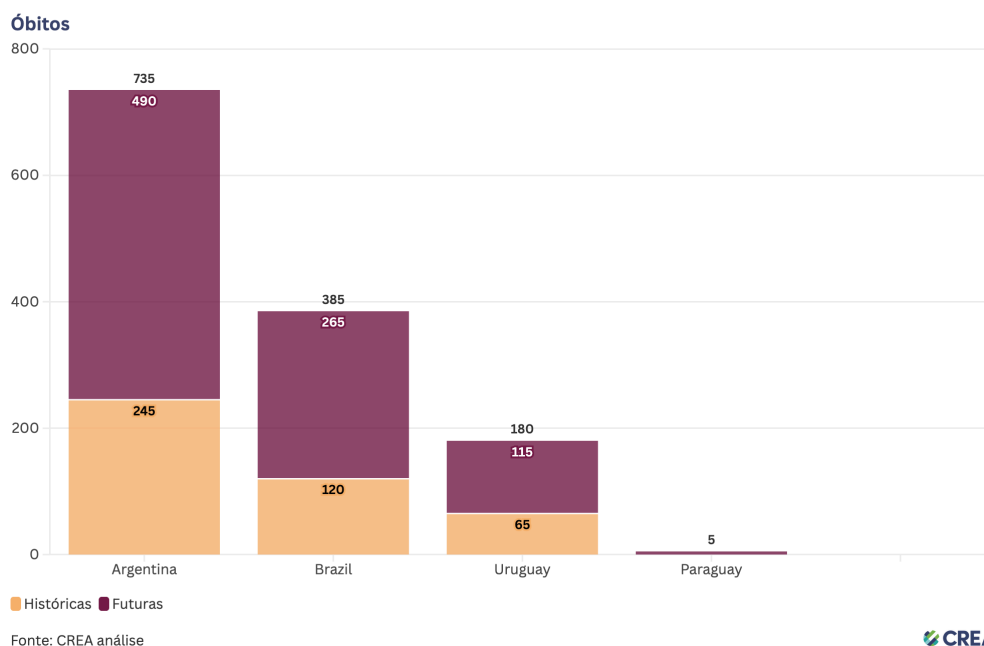


Figura 2 — Total histórico de óbitos (2017–2025) e futuros (2026–2040) em diferentes regiões, causados pelos quatro projetos de carvão em Candiota

As emissões das operações do carvão em Candiota levaram a aproximadamente 460 (350–580) óbitos no período de 2017 a 2025, com uma distribuição desses óbitos no Brasil e nos países vizinhos (Figura 2). A população argentina é a mais impactada pelos projetos de carvão em Candiota, seguida pelo Brasil, Uruguai e Paraguai.

Conclusões

Este relatório conclui que as operações de geração de energia a carvão em Candiota têm um impacto significativo na qualidade do ar, na saúde pública e na economia. A transição para longe do carvão não apenas reduzirá as emissões de gases de efeito estufa e minimizará os impactos das mudanças climáticas, mas também beneficiará as comunidades locais por meio da melhoria da qualidade do ar, da saúde e da economia.

Fazer o phase out do uso do carvão na geração de energia do Brasil é uma oportunidade para que o país avance rumo a uma transição justa energética. Embora o carvão contribua com uma pequena fração da matriz elétrica do Brasil (cerca de 1,6%), seus impactos ambientais são desproporcionalmente grandes, particularmente em termos de poluição atmosférica local (Monitor Energia, 2026). A continuidade da operação de usinas termelétricas a carvão compromete os compromissos do Brasil diante do Acordo de Paris e contradiz seu potencial como um líder global em matéria de energia renovável, dados os seus vastos recursos hidrelétricos, eólicos e solares.

A eliminação gradual do carvão poderia ser alcançada através da combinação de políticas de incentivo, investimentos em renováveis, regulações de emissões mais restritas, e medidas de transição justa para trabalhadores e comunidades economicamente dependentes do carvão. Essa mudança não só reduziria as emissões de gases de efeito estufa, como também melhoraria a saúde pública e reforçaria a segurança energética. Neste contexto, a descarbonização do setor elétrico brasileiro é um passo crucial em direção à melhoria da saúde pública a longo prazo e reforça o papel do Brasil na governança ambiental global.

Recomendações de políticas públicas

As evidências apresentadas neste relatório demonstram que a mineração e a combustão contínua de carvão em Candiota levantam sérias preocupações em relação aos objetivos

do Brasil quanto à regulação das emissões, legislação ambiental, e compromissos com a saúde pública. Os tribunais, os legisladores e os formuladores de políticas públicas têm a autoridade e a responsabilidade de agir.

O banimento do carvão em Candiota não é meramente uma preferência ambiental, é uma necessidade legal, econômica e de saúde pública. Com base nesse relatório de Avaliação de Impacto à Saúde, o CREA e a ARAYARA identificaram cinco principais recomendações de políticas públicas:

1. Phase-out acelerado de geração de energia a carvão em Candiota

CREA e ARAYARA requisitam que o governo adote um cronograma legalmente vinculante para descomissionar as usinas termelétricas a carvão Candiota III e Pampa Sul antes dos prazos de validade das licenças em vigor 31 de dezembro de 2040 and 31 de dezembro de 2043 respectivamente, sem prorrogações dos contratos existentes.

Os resultados desta Avaliação de Impactos à Saúde demonstram que a continuidade da combustão a carvão causará aproximadamente 870 mortes entre 2026 e 2040, juntamente com centenas de casos de asma, nascimentos prematuros, doenças crônicas e ausências no trabalho. O ônus econômico associado de 6 bilhões de reais excede quaisquer benefícios econômicos locais das operações de carvão.

O carvão responde por aproximadamente 1,6% da geração de eletricidade no Brasil, embora imponha desproporcionalmente altos custos à saúde e à economia, levantando questões à luz dos princípios constitucionais sobre os direitos à saúde (Artigo 196, Constituição Federal; Monitor Energia, 2026), o direito a um ambiente ecologicamente equilibrado (Artigo 225), e os princípios da precaução e da prevenção firmados na legislação ambiental brasileira (Direitos Globais de Saúde, 2010).

Os tribunais brasileiros vêm crescentemente reconhecendo que os interesses econômicos não podem se sobrepor aos direitos fundamentais quando os danos graves e irreversíveis estão demonstrados. As taxas de mortalidade e a morbidade quantificadas neste relatório oferecem a evidência robusta de que a continuidade das operações a carvão constitui uma violação contínua de direitos, reforçando as ligações existentes e futuras que buscam o fechamento das plantas ou a suspensão das operações.

2. Fim dos subsídios públicos e do tratamento financeiro preferencial para as operações a carvão.

Cessar os subsídios federais e estaduais, isenções tributárias, pagamentos por capacidade e mecanismos financeiros públicos que apoiam a mineração de carvão e a geração de energia a carvão em Candiota, incluindo o financiamento recebido pela Pampa Sul e Seival Sul, do Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul do Brasil (BRDE), subsidiados segundo o PL No. 576/2021, e os contratos de mercado regulado que garantem receita para as usinas de carvão.

A continuidade dos subsídios, a despeito dos danos à saúde documentados, pode expor as autoridades públicas a contestações constitucionais, especialmente porque existe disponibilidade de fontes de energia renovável mais baratas. Redirecionar os subsídios para fontes renováveis e políticas de transição social melhor se alinharia com o gasto público, diante dos mandatos constitucionais e dos precedentes judiciais.

3. Reforço da fiscalização do licenciamento ambiental e dos limites de emissão

CREA e ARAYARA recomendam reforçar os mecanismos de cumprimento das condicionantes do licenciamento ambiental e dos limites de emissão, incluindo a verificação independente da conformidade quando forem verificadas ultrapassagens desses limites.

O relatório documenta violações sistemáticas dos limites de emissão, particularmente para SO₂ e material particulado na Pampa Sul e Candiota III (veja Anexos 2 e 3), apesar das condicionantes explícitas da Licença de Operação No. 1520/2019 e da Resolução CONAMA 491/2018 (CONAMA, 2018; IBAMA, 2019).

4. Integração das evidências relacionadas à saúde nas tomadas de decisão judiciais e regulatórias

Exigir o uso de Avaliações de Impacto à Saúde (AIS) e análises cumulativas de impacto em todas as renovações de licença, processos judiciais e decisões políticas envolvendo a infraestrutura do carvão. Também, reconhecer explicitamente o phase-out do carvão em Candiota como parte da estratégia brasileira de mitigação climática e direitos humanos, integrando a poluição atmosférica com a política do clima.

Os tribunais brasileiros vêm se baseando cada vez mais na evidência científica e epidemiológica em litigações ambientais e climáticas. A litigação climática brasileira argumenta crescentemente que a omissão em reduzir os combustíveis fósseis constitui uma violação de direitos fundamentais. A incorporação dessas evidências poderia fortalecer as análises de proporcionalidade judicial, apoiar medidas liminares ou precaucionais, e assegurar que o licenciamento ambiental reflita as consequências reais à saúde, em vez de métricas restritas de conformidade. Os impactos transfronteiriços à saúde identificados neste relatório, que afetam o Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai, também indicam possíveis violações ao direito ambiental internacional, reforçando a urgência de ações no plano nacional.

5. Políticas de transição justa para os trabalhadores e comunidades locais

Implementar um programa de transição justa abrangente para Candiota, incluindo apoio à geração de renda e requalificação dos trabalhadores do carvão, investimentos em energia renovável, serviços de infraestrutura, postos de trabalho para remediação ambiental e estratégias de diversificação econômica.

Esta avaliação mostra que o carvão impõe perdas econômicas líquidas para a sociedade, quando os custos com a saúde são contabilizados. Uma transição planejada pode converter esses custos evitáveis em ganhos para a economia local, e ainda prevenir a ruptura social.

Os tribunais brasileiros têm enfatizado a necessidade de políticas ambientais socialmente justas, particularmente quando as comunidades têm sido historicamente dependentes de indústrias prejudiciais. As medidas de transição justa reduzem a resistência legal ao phase-out do carvão ao alinharem a proteção ambiental com os direitos sociais.

Metodologia

Este relatório de Avaliação de Impacto à Saúde (AIS) avalia a poluição do ar e o ônus à saúde e à economia causados pelas duas maiores minas e usinas termelétricas a carvão que operam em Candiota, Rio Grande do Sul, Brasil. As minas de carvão de Candiota e Seival Sul, juntamente com as usinas termelétricas Pampa Sul e Candiota III, foram selecionadas para a análise devido a sua escala e interdependência. Quase 100% do carvão extraído da mina de Seival Sul é usado para gerar eletricidade na usina termelétrica

Pampa Sul, enquanto a mina de Candiota fornece carvão para a usina Candiota III em um esquema similar. Como as minas e as usinas são mutuamente dependentes, reduzir ou descomissionar a operação de uma delas afetaria diretamente a operação da sua instalação correspondente.

Emissões

Neste estudo, consideramos as emissões atmosféricas de dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), e material particulado fino (PM_{2,5}). A partir das usinas a carvão, recuperamos as concentrações horárias de gases de combustão a partir dos dados do Sistema de Monitoramento Contínuo de Emissões (SMCE) de 2021 a 2023, reportados pela Ambar Energia (Ambar Energia, 2025a; 2025b). Esses valores são dimensionados para o cronograma do estudo de 2017 a 2040, multiplicando os valores anuais por 30. Para as minas de carvão, estimamos as emissões usando fatores de emissão do IPCC, da AEA e de estudos individuais sobre essas minas para obter os fatores de emissão mais precisos com dados de atividade, com base nas capacidades de produção das minas (Weaver & Wood, 2004; da Silva et al., 1993; AEA, 2023; AEA 2009; IPCC, 1996). A Tabela 2 mostra os resultados dos nossos cálculos de emissões.

Tabela 2 — Emissões anuais da mina de carvão Candiota, que fornece carvão para a usina termelétrica Candiota III, e da mina de carvão Seival Sul, que fornece carvão para a usina termelétrica Pampa Sul; 2017-2040

Poluente	Unidade	Mina de carvão Candiota		Mina Seival	
		Candiota	Candiota III	Sul	Pampa Sul
PM	t/ano	130	670	170	130
SO ₂	t/ano	-	12.460	-	2.440
NO ₂	t/ano	-	3.780	-	540

Nota: Os valores apresentados nesta tabela são baseados na média das emissões entre 2021 e 2023.

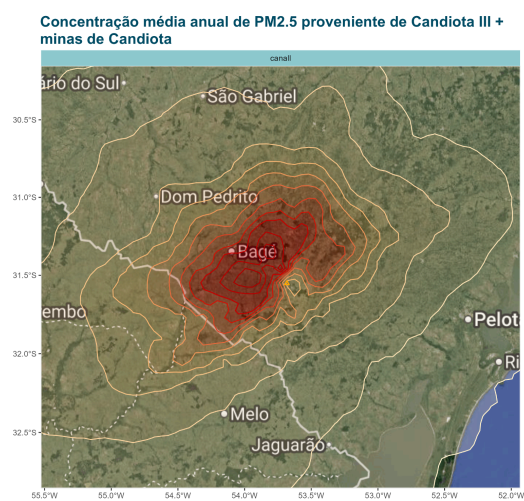
Modelo de qualidade do ar (CALPUFF)

Simulamos as concentrações de poluentes atmosféricos usando o modelo de dispersão atmosférica CALPUFF, versão 7 (Exponent, 2015). O CALPUFF é um modelo amplamente utilizado como padrão na indústria para avaliar impactos de longo alcance de fontes pontuais sobre a qualidade do ar. O modelo foi avaliado exaustivamente pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, é de código aberto e totalmente documentado. O CALPUFF calcula o transporte atmosférico, a dispersão, a transformação química e a deposição dos poluentes, bem como as concentrações incrementais resultantes ao nível do solo atribuídas às fontes de emissão estudadas. As transformações químicas do SO_2 e NO_2 em $\text{PM}_{2.5}$ são calculadas utilizando o ISORROPIA. A Figura 3 a) mostra as concentrações médias anuais de $\text{PM}_{2.5}$ da mina Candiota e da usina a carvão Candiota III, enquanto a Figura 3 b) mostra as concentrações médias anuais de $\text{PM}_{2.5}$ da mina Seival Sul e da usina a carvão Pampa Sul. As concentrações de $\text{PM}_{2.5}$ atingem cerca de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ perto das instalações de Candiota, enquanto em Pampa Sul as concentrações permanecem no nível de $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A Figura 4 a) mostra as concentrações médias anuais de NO_2 na usina a carvão Candiota III e na mina Candiota, com concentrações de $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ perto das fontes. Da mesma forma, a Figura 4 b) mostra as concentrações médias anuais de NO_2 para a mina Seival Sul e a usina a carvão Pampa Sul, com concentrações de $0,025 \mu\text{g}/\text{m}^3$ perto das fontes. A Figura 5 a) mostra as concentrações médias anuais de SO_2 na usina termelétrica Candiota III e na mina de carvão de Candiota, com concentrações de $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ perto das instalações, enquanto a Figura 5 b) mostra as concentrações médias anuais de SO_2 para a mina de carvão de Seival Sul e a usina termelétrica Pampa Sul, com concentrações de $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ perto das fontes.

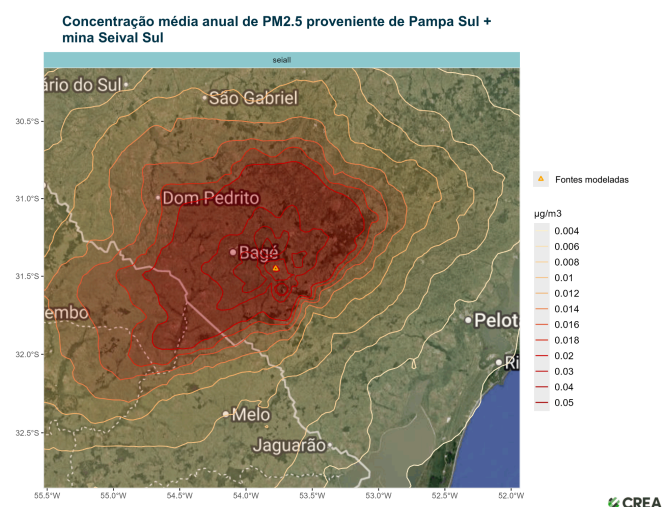
As concentrações de fundo de oxidantes (ozônio, amônia e peróxido de hidrogênio) são obtidas a partir de um modelo global de química atmosférica. Os dados meteorológicos para o ano de 2021 são gerados a partir do modelo Weather Research Forecasting (WRF) (Skamarock et al., 2008), versão 4.2.2. O WRF foi configurado com 33 níveis verticais e 2 grades aninhadas. A rede principal tem uma resolução de 15 km e abrange cerca de ~1.500 km nas direções norte-sul e leste-oeste. A rede interna tem uma resolução de 5 km e abrange cerca de 300 km nas direções norte-sul e leste-oeste, centrada em Candiota.

Os domínios mãe e interno utilizam uma técnica de aninhamento bidirecional, que garante uma interação dinâmica entre eles. As simulações WRF utilizam condições de contorno iniciais e laterais do conjunto de dados Climate Forecast System Reanalysis

(CFSR) do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), produzindo dados meteorológicos tridimensionais por hora que cobrem todo o ano civil de 2021. Para a avaliação das concentrações médias anuais de poluentes, as emissões são consideradas constantes ao longo do ano.



a)

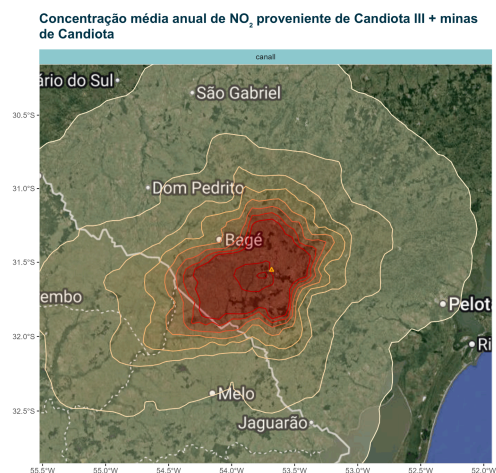


b)

Mina de candiota e usina a carvão Candiota III

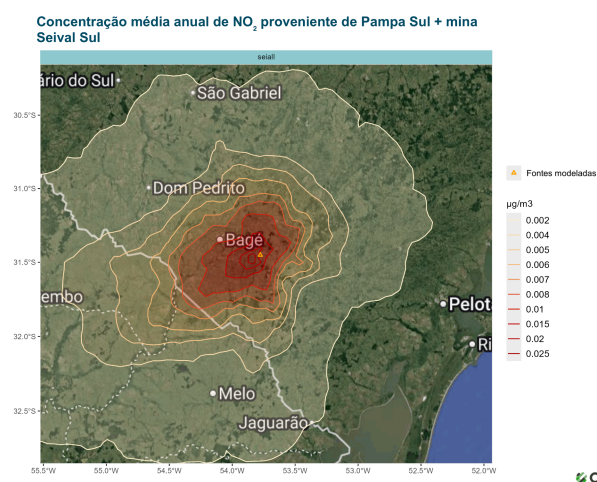
Mina de Pampa Sul e usina a carvão Pampa Sul

Figura 3 — Concentração média anual de PM2.5 proveniente de emissões combinadas da mina Candiota e da usina termelétrica a carvão Candiota III, e da mina de carvão Seival Sul e da usina termelétrica a carvão Pampa Sul



a)

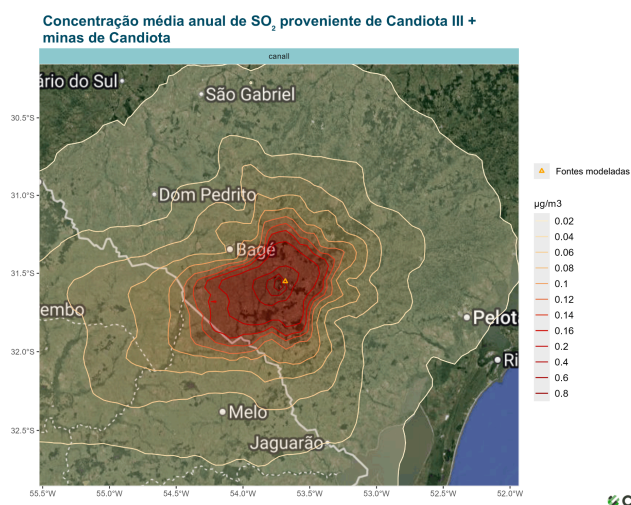
Mina de candiota e usina a carvão Candiota III



b)

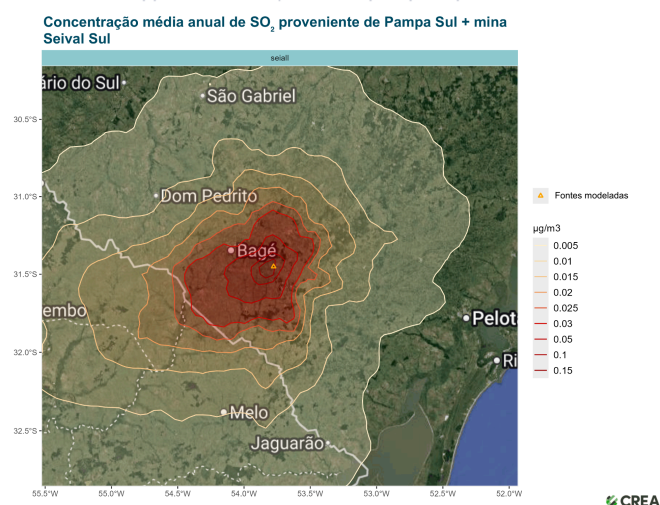
Mina de Pampa Sul e usina a carvão Pampa Sul

Figura 4 — Concentração anual média de NO₂ das emissões combinadas da mina Candiota e usina a carvão Candiota III, e da mina de carvão Seival Sul e da usina termelétrica a carvão Pampa Sul



a)

Mina de candiota e usina a carvão Candiota III



b)

Mina de Pampa Sul e usina a carvão Pampa Sul

Figuras 5 — Concentração média anual de SO₂ de emissões combinadas da mina Candiota e da usina termelétrica Candiota III, e da mina de carvão Seival Sul e usina termelétrica Pampa Sul

Avaliação do impacto à saúde e econômico

O CREA desenvolveu uma estrutura de avaliação de impacto à saúde globalmente implementável, com base nos mais recentes avanços científicos. Esta abordagem inclui um conjunto tão completo quanto possível de resultados de saúde, sem sobreposições óbvias.

A ênfase está nos resultados para os quais existem dados de incidência disponíveis em nível nacional a partir de conjuntos de dados globais e nos resultados que têm alta relevância para os custos dos cuidados de saúde e produtividade do trabalho. Estes parâmetros de saúde foram selecionados e quantificados de forma a permitir uma avaliação econômica, ajustada pelos níveis de produção econômica e rendimento em diferentes jurisdições.

Para cada resultado de saúde avaliado, selecionamos uma relação concentração-resposta que já foi usada para quantificar o impacto da poluição do ar na saúde em nível global em

literatura revisada por pares. Isso indica que as evidências são maduras o suficiente para serem aplicadas em diferentes regiões geográficas e níveis de exposição. O cálculo dos impactos na saúde segue um cálculo epidemiológico padrão:

$$\Delta cases = Pop \times \sum_{age} \left[Frac_{age} \times Incidence_{age} \times \frac{RR_{conc,age} - 1}{RR_{conc,age}} \right],$$

Onde Pop é a população total na localização da grade; idade é a faixa etária analisada (no caso de funções de resposta à concentração dependentes da idade, um segmento etário de 5 anos; em outros casos, a faixa etária total à qual a função é aplicável); $Frac_{age}$ é a fração da população pertencente à faixa etária analisada; Incidence é a incidência de referência da condição de saúde analisada e c é a concentração do poluente, com c_{base} referindo-se à concentração de referência (concentração ambiental atual). $RR_{(c, age)}$ é a função que fornece a razão de risco do resultado de saúde analisado na concentração dada para a faixa etária em comparação com o ar limpo. No caso de uma função log-linear de concentração-resposta não específica para a idade, a função RR torna-se $RR(c) = RR_0 \frac{c - c_0}{\Delta c_0}$ quando $c > c_0$, 1 caso contrário, onde RR_0 é a razão de risco encontrada na pesquisa epidemiológica, Δc_0 é a mudança de concentração a que RR_0 se refere e c_0 é a concentração considerada inofensiva (em geral a concentração mais baixa encontrada nos dados do estudo).

As taxas de incidência foram extraídas dos resultados do Global Burden of Disease de 2019 (Global Burden of Disease, 2020), acessados do IHME - Instituto de Métricas e Avaliação em Saúde (IHME, 2020), bem como de várias fontes indicadas na Tabela 3. A distribuição espacial da população foi obtida a partir do Gridded Population of the World v4 do CIESIN - Center for International Earth Science Information Network (CIESIN, 2018) e ajustada para o ano-alvo utilizando as variações nas taxas de população e mortalidade do conjunto de dados do World Population Prospect da ONU (ONU, 2019).

Na sequência da atualização das Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS, que agora reconhecem os danos à saúde causados pelo NO_2 em baixas concentrações, utilizamos a função de risco de mortalidade para o NO_2 com base nos resultados de Huangfu e Atkinson (2020), incluindo impactos até $4,5 \mu g/m^3$, o nível de concentração mais baixo em estudos que constatarem aumento do risco de mortalidade (Tabela 3).

As mortes de adultos foram estimadas utilizando as funções de risco desenvolvidas por Burnett et al. (2022). As mortes de crianças pequenas (menores de 5 anos) por infecções do trato respiratório inferior associadas à poluição por PM_{2,5} foram avaliadas utilizando a função de risco do Global Burden of Disease para doenças do trato respiratório inferior (IHME 2020). Para todos os resultados de mortalidade, os dados específicos por causa foram extraídos dos resultados do projeto Global Burden of Disease para 2019 (IHME 2020).

A modelagem de impactos na saúde projeta os efeitos da exposição a poluentes durante o ano de estudo. Alguns impactos na saúde são imediatos, como a exacerbação dos sintomas da asma e a perda de dias de trabalho, enquanto outros impactos crônicos podem ter um período de latência de vários anos. As relações concentração-resposta para atendimentos em pronto-socorro por asma e faltas ao trabalho basearam-se em estudos que avaliaram variações diárias nas concentrações de poluentes e nos resultados de saúde; essas relações foram aplicadas às variações nas concentrações médias anuais. As concentrações anuais de referência de PM_{2,5} e NO₂ são extrapoladas para 2023 com base na concentração média anual de PM_{2,5} de van Dondelaar et al. (2021) e de NO₂ de Larkin et al. (2017).

A projeção dos impactos na saúde no futuro levou em consideração as mudanças previstas na população, na estrutura etária da população e na mortalidade por faixa etária, com base na Variante Média das Perspectivas Demográficas Mundiais do PNUD (2019). Esses fatores incluem a redução esperada da mortalidade infantil de referência e o aumento das mortes por doenças crônicas entre idosos, como parte das transições demográficas e epidemiológicas e das melhorias na assistência à saúde.

Tabela 3 — Parâmetros e dados de entrada usados para estimar os impactos na saúde física

Faixa Etária	Efeito	Poluente	Função de Resposta à Concentração	Mudança da concentração	Limiar sem risco	Referência	Dado de incidência
1-18	Novos casos de asma	NO ₂	1,26 (1,10 – 1,37)	10 ppb	2 ppb	Khreis et al. (2017)	Achakulwisut et al. (2019)
0-17	Visitas ao pronto-socorro por asma	PM _{2,5}	1,025 (1,013 – 1,037)	10 µg/m ³	6 µg/m ³	Zheng et al. (2015)	Anenberg et al. (2018)
18-99	Visitas ao pronto-socorro por asma	PM _{2,5}	1,023 (1,015 – 1,031)	10 µg/m ³	6 µg/m ³	Zheng et al. (2015)	Anenberg et al. (2018)
Recém nascido	Parto prematuro	PM _{2,5}	1,15 (1,07 – 1,16)	10 µg/m ³	8,8 µg/m ³	Sapkota et al. (2012)	Chawanpaiboon et al. (2019)
20-65	Falta no trabalho	PM _{2,5}	1,046 (1,039 – 1,053)	10 µg/m ³	N/A	WHO (2013)	EEA (2014)
0-4	Óbitos por infecções do trato respiratório inferior	PM _{2,5}	Burnett et al. (2022)		0 µg/m ³	Burnett et al. (2022)	IHME (2020)
25-99	Óbitos por doenças não comunicáveis, desagregado por causa, e de infecções do trato respiratório inferior	PM _{2,5}	Burnett et al. (2022)		0 µg/m ³	Burnett et al. (2022)	IHME (2020)
25-99	Incapacidade causada por diabetes, acidente vascular cerebral e doença respiratória crônica	PM _{2,5}	IHME (2020)		2.4 µg/m ³	Burnett et al. (2018)	IHME (2020)
25-99	Mortes	NO ₂	1.02 (1.01 – 1.04)	10 µg/m ³	4.5 µg/m ³	Huangfu et al. (2020); NRT from Stieb et al. (2021)	IHME (2020)

Nota: Os valores numéricos na coluna “Função de resposta à concentração” referem-se à razão de chances correspondente ao aumento nas concentrações apresentadas na coluna “mudança da concentração”. Referências bibliográficas indicam o uso de uma função de concentração-resposta não linear. O limiar sem risco refere-se a uma concentração abaixo da qual o impacto na saúde não é quantificado, geralmente porque os estudos nos quais a função se baseia não incluíram pessoas com níveis de exposição mais baixos. Não existem dados sobre relações de concentração-resposta para todas as regiões geográficas, portanto, um modelo de risco global é

aplicado a todas as cidades. Os dados de incidência geralmente não estão disponíveis em nível municipal, sendo necessário aplicar médias nacionais.

A poluição atmosférica aumenta o risco de desenvolvimento de doenças respiratórias e cardiovasculares, bem como suas complicações, reduzindo significativamente a qualidade de vida e a produtividade econômica das pessoas afetadas e elevando os custos com saúde. As perdas econômicas resultantes da poluição atmosférica foram calculadas utilizando os métodos descritos em Myllyvirta (2020). A valoração das mortes foi atualizada para os valores derivados por Viscusi & Masterman (2017), que se baseiam em dados do mercado de trabalho e consideram especialmente a aplicabilidade em países de renda média e baixa. O projeto Global Burden of Disease quantificou o grau de incapacidade causado por cada doença em um ‘peso de incapacidade’ que pode ser usado para comparar os custos de diferentes doenças. O custo econômico da incapacidade e da redução da qualidade de vida causadas por essas doenças e incapacidades é avaliado com base nos pesos de incapacidade, combinados com a valoração econômica da incapacidade utilizada pelo órgão regulador ambiental do Reino Unido, DEFRA (Birchby et al., 2019), e ajustados pelo PIB em PPC (Paridade do Poder de Compra) do Brasil. As mortes de crianças pequenas são valorizadas em dobro em relação às mortes de adultos, seguindo as recomendações da OCDE (2012). Para as avaliações utilizadas em nossa metodologia, veja a Tabela 4.

Os custos econômicos dos impactos futuros na saúde foram estimados ajustando-se as avaliações de 2023 (Tabela 4) utilizando as projeções de longo prazo da OCDE para o crescimento do PIB e as projeções populacionais das Perspectivas da População Mundial (PPM) da ONU (OCDE, 2026; ONU, 2024). Os custos futuros foram descontados para 2023 utilizando uma taxa de desconto anual de 3%, e os resultados são apresentados em preços constantes de 2023. A valoração futura é relativamente menor do que as estimativas atuais (2023) devido ao crescimento lento (< 3%) do PIB e da população em comparação com a taxa de desconto anual constante de 3%.

Tabela 4 — Parâmetros e dados de entrada usados para estimar os custos econômicos dos impactos à saúde

Resultado	Avaliação com base na média mundial do PIB/RNB per capita, em dólares internacionais de 2023	Avaliação em reais brasileiros de 2023	Referência
Faltas no trabalho (dias de licença médica)	54	269	EEA, 2014
Número de crianças com asma devido à exposição à poluição (prevalência aumentada)	682	3.403	Brandt et al., 2012
Óbitos	1.653.000	8.248.470	Viscusi & Masterman, 2017
Óbitos de crianças com menos de 5 anos	3.305.000	16.489.950	OECD, 2012
Visitas ao pronto-socorro por asma	147	733	Brandt et al., 2012
Nascimentos prematuros	68.140	339,018	Trasande et al., 2016
Anos vividos com incapacidade	17.850	89.071	Birchby et al., 2019

Anexo 1

Mina de carvão de Candiota

A mina de carvão de Candiota é uma mina a céu aberto em operação, pertencente à Companhia Riograndense de Mineração, localizada no município de Candiota, Rio grande do Sul, Brasil. Sua produção estimada em 2023 foi de 1,2 milhão de toneladas de carvão (Mining Technology, 2024). Sua capacidade produtiva total é de 1,46 milhões de toneladas por ano (GEM, 2025). As reservas da mina de Candiota vêm sendo exploradas há décadas (Corrêa da Silva, 1993), mas a mina foi aberta para produção comercial de energia em 2018 e está prevista para permanecer em operação até 2040, 2043 ou 2050, dependendo do tempo de operação da usina Candiota III, embora ainda não haja uma data definitiva oficialmente confirmada (Folha do Sul, 2025; Eixos, 2023; Câmara dos Deputados, 2023). A maior parte (96,64% em média entre 2000 e 2024, e 99% em 2024) do carvão extraído na mina de Candiota é utilizada na central termoeletrica de Candiota III (ARAYARA, 2025). O excedente energético é vendido para uso industrial.

Usina a carvão Candiota III

A Usina Termoeletrica Candiota III é uma instalação de geração de energia a vapor localizada próxima à mina de carvão de Candiota, no município de Candiota, Rio Grande do Sul. Ela utiliza principalmente carvão mineral extraído da mina local de Candiota como fonte de combustível. A usina tem uma capacidade instalada de 350 MW, gerada por uma única unidade turbogeradora. Sua energia foi comercializada por meio do Leilão de Compra de Energia A-5, organizado pela ANEEL em 16 de dezembro de 2005, com um contrato de 15 anos (EPE, 2005). As operações comerciais começaram em 1º de janeiro de 2011 (ANEEL, 2013).

A UTE Candiota III – Fase C é atualmente a única unidade operacional da usina termelétrica de Candiota. Até 2017, havia outras duas unidades funcionais, motivo pelo qual nosso período de observação se inicia em 2017, e não em 2011, ano de início das operações. Ela está integrada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), a rede elétrica interligada que conecta a maior parte da infraestrutura de geração e transmissão de energia do Brasil, possibilitando a operação coordenada e o intercâmbio regional de energia. Nesse sistema, desempenha um papel fundamental na gestão da tensão na rede de transmissão regional, principalmente durante períodos de alta produção hidroelétrica.

Pela Portaria nº 304, de 17 de setembro de 2008, a Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE) foi autorizada a operar como Produtora Independente de Energia Elétrica (Gabinete do Ministro, 2008). Essa autorização abrangia a implantação da usina UTE Candiota III, composta por uma unidade geradora com capacidade instalada de

350.000 kW, movida a carvão mineral. Posteriormente, em 2023, a usina a carvão foi vendida para a Ambar Energia, que atualmente opera a unidade III (Eixos, 2024). A usina recebeu uma licença de operação com duração de 35 anos, a partir de 18 de julho de 2006, com validade até 2041 (CGTEE, 2015). Embora algumas fontes mencionem a operação até 2040 ou 2043, existe também uma proposta no Projeto de Lei nº 576/2021 para estender os subsídios para sua operação até 2050, o que poderia atrasar o processo de transição energética (World Energy, 2024; Valor, 2025; Folha do Sul, 2025; Eixos, 2023; Câmara dos Deputados, 2023).

Mina de carvão Seival Sul

A mina de carvão Seival Sul, também localizada em Candiota, é um dos mais importantes sítios de extração de carvão do Brasil, na Bacia do Paraná. A mina iniciou suas operações em 2018 como um projeto a céu aberto (Brasil Mineral, 2018).

As estimativas das reservas da Seival variam. Em 2014, no início de suas operações, as avaliações iniciais indicaram aproximadamente 152 milhões de toneladas de carvão recuperável na mina, enquanto estimativas mais amplas sugerem recursos de até 450 milhões de toneladas (GEM, 2024).

A mina tem uma capacidade de produção nominal de aproximadamente 2,8 a 3,3 milhões de toneladas por ano (MTPA). A produção real atingiu o pico de 2,2 milhões de toneladas em 2021 e foi estimada em 1,6 MTPA em 2023, tornando Seival a terceira maior mina de carvão do Brasil, depois de Arroio dos Ratos (4,2 MTPA) e Recreio (2,2 MTPA) (Mining Technology, 2023).

A mina de carvão recebeu R\$ 31,5 milhões em financiamento do Banco Regional de Desenvolvimento do Sul do Brasil (BRDE) em 2017, como parte de um programa de investimentos de R\$ 86,3 milhões (Amanhã, 2017; Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2017).

Uma grande parte do carvão extraído de Seival é contratada para abastecer a usina termelétrica de Pampa Sul, localizada nas proximidades. O acordo garante entregas entre 160.000 e 230.000 toneladas por mês, com contratos que se estendem até 2043 (GEM, 2024). Em outubro de 2024, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (Fepam) renovou a licença de operação da mina, válida até outubro de 2029. A renovação autorizou a continuidade das operações sem a expansão da área licenciada ou o aumento da capacidade, ao mesmo tempo em que tornou obrigatório o monitoramento ambiental e os esforços de recuperação (Jornal Minuano, 2024).

Usina a carvão Pampa Sul

A Usina Termoeletrica Pampa Sul é uma central elétrica em operação com capacidade de pelo menos 345 megawatts (MW) em Candiota, Rio Grande do Sul. A Usina Termoeletrica Pampa Sul foi a última instalação termelétrica a carvão no Brasil a receber apoio financeiro do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), garantindo R\$ 728,9 milhões do Fundo de Apoio aos Trabalhadores (Observatório do Carvão, 2021).

Sua construção que se iniciou em 2016 foi marcada por sérios contratempos. O projeto enfrentou múltiplos embargos devido a violações trabalhistas investigadas pelo Ministério Público do Trabalho, pela Polícia Federal e pela Defensoria Pública Federal. Essas investigações surgiram de denúncias que incluíam alegações de condições de trabalho análogas à escravidão (gov.br, 2022; Jornal Minuano, 2018). As autoridades descobriram irregularidades na documentação de contratação de cerca de 500 trabalhadores, 200 dos quais eram imigrantes chineses, e identificaram riscos iminentes à segurança dos trabalhadores no canteiro de obras (SINAIT, 2018; MTE, 2018). As operações comerciais da usina de carvão começaram em 2019, razão pela qual os anos de 2017 e 2018 não são considerados em nossa avaliação de impacto na saúde (GEM, 2026b).

A conformidade ambiental também tem sido um problema. Em diversas ocasiões, a usina termelétrica a carvão de Pampa Sul ultrapassou os limites de emissão estabelecidos na Portaria de Licenciamento nº 1520/2019. Suas emissões médias diárias de SO₂ atingiram níveis extremamente altos entre 2021 e 2023, chegando a um pico de 6.187,57 mg/Nm³ em 21 de agosto de 2022. Da mesma forma, as emissões de material particulado ultrapassaram o limite legal, atingindo uma média máxima de 85,67 mg/Nm³ em 26 de março de 2021.

Anexo 2

Emissões médias horárias da usina Candiota III no período de 2021 a 2023 e os limites de emissão específicos para essa usina.

Candiota III – emissões médias horárias (2021)

SO₂ NO_x PM

mg/Nm³



Fonte: Ambar Energia (2024) • Obs.: as emissões de SO₂ alcançam valores tão altos quanto 4.847, o que não é mostrado no gráfico.

Obs.: Os limites são específicos para a planta

Figura A.2.1 — Emissões médias horárias de Candiota III em 2021 e limites de emissão específicos para a planta

Candiota III – emissões médias horárias (2022)

SO₂ NO_x PM

mg/Nm³



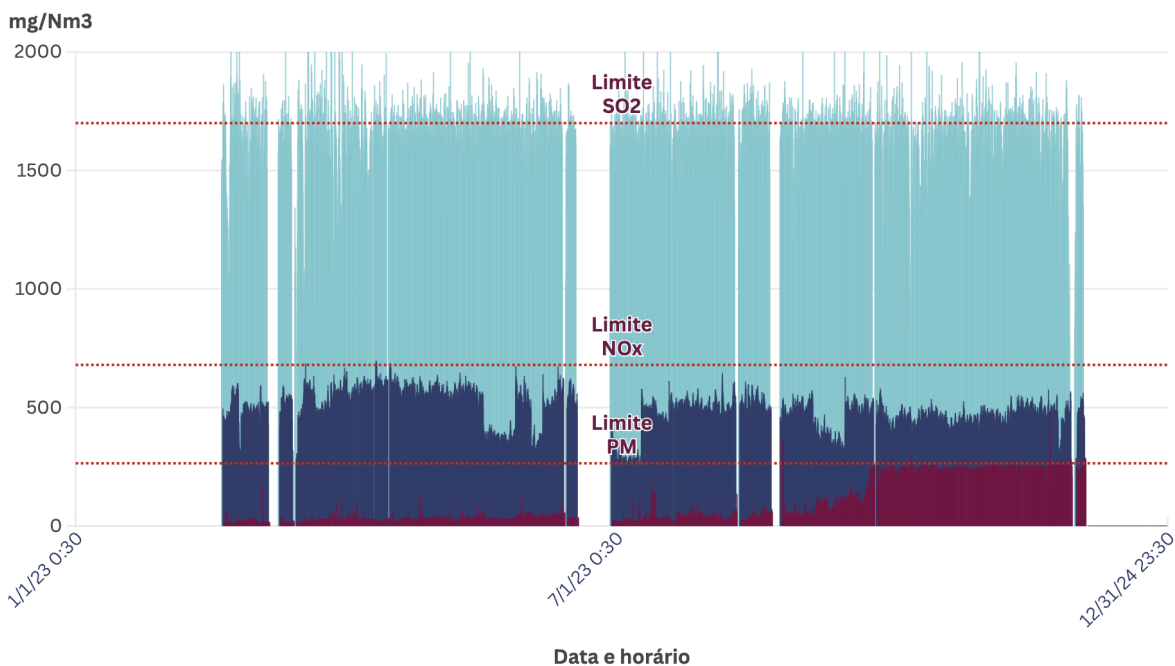
Fonte: Ambar Energia (2024) • Obs.: as emissões de SO₂ alcançam valores tão altos quanto 3.966, o que não é mostrado no gráfico.

Obs.: Os limites são específicos para a planta.

Figura A.2.2 — Emissões médias horárias de Candiota III em 2022 e limites de emissão específicos para a planta

Candiota III – emissões médias horárias (2023)

SO₂ NO_x PM



Fonte: Ambar Energia (2024) • Obs.: as emissões de SO₂ alcançam valores tão altos quanto 4,200, o que não é mostrado no gráfico.

Obs.: Os limites são específicos para a planta.

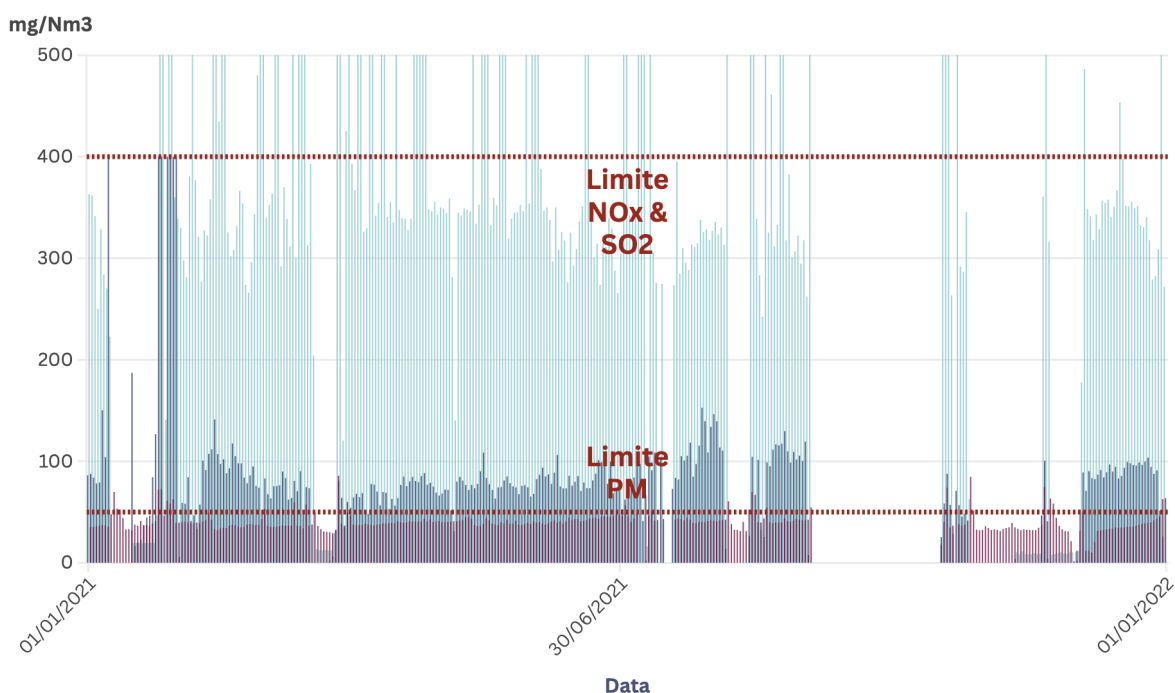
Figura A.2.3 — Emissões médias horárias de Candiota III em 2023 e limites de emissão específicos para a planta

Anexo 3

Emissões médias de 24 horas da Pampa Sul em 2021–2023 e os limites de emissão específicos da usina.

Pampa Sul – emissões médias de 24 horas (2021)

■ NOx ■ SO2 ■ PM



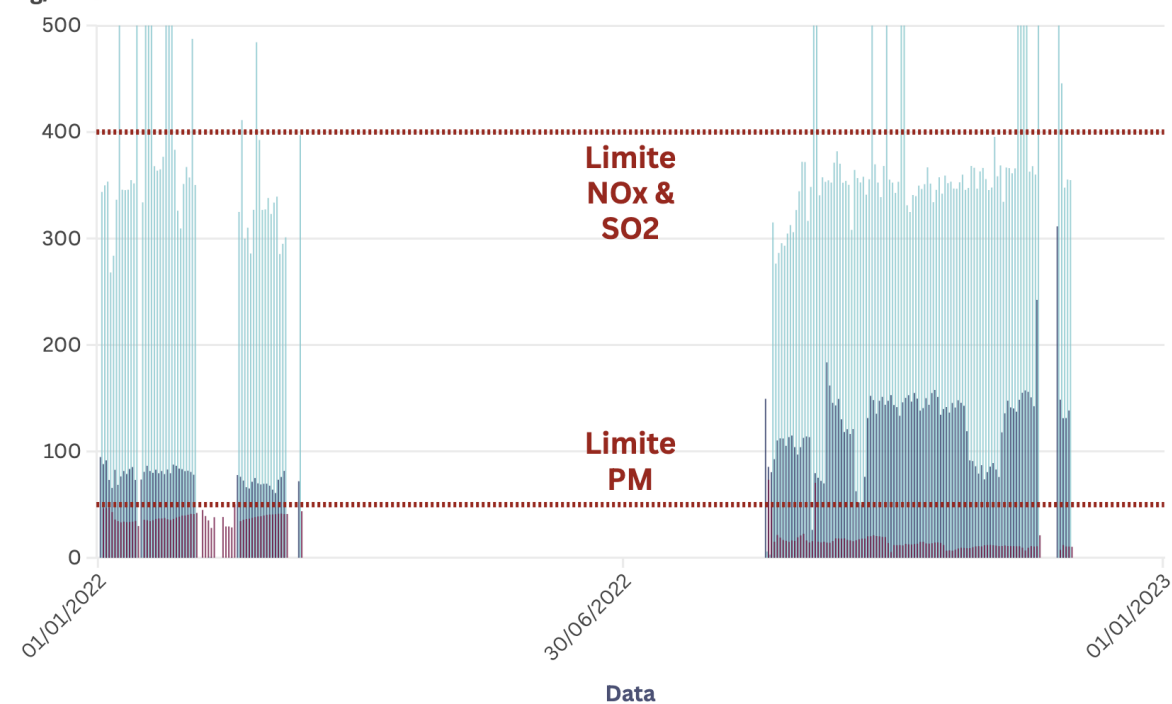
Fonte: Ambar Energia (2024) • Obs.: as emissões de SO2 alcançam valores tão altos quanto 4,700 mg/Nm3, o que não é mostrado no gráfico. Obs.: Os limites são específicos para a planta

Figura A.3.1 — Emissões médias de 24 horas da Pampa Sul em 2021 e os limites de emissão específicos da usina

Pampa Sul — emissões médias de 24 horas (2022)

■ NOx ■ SO2 ■ PM

mg/Nm3

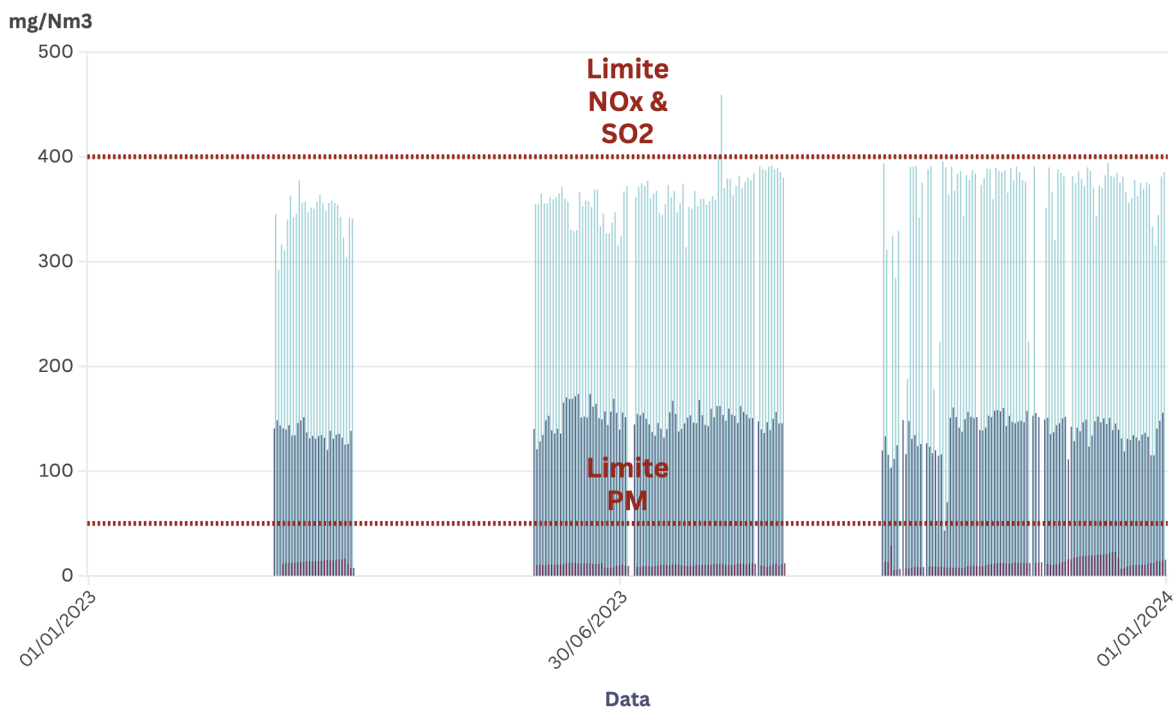


Fonte: Ambar Energia (2024) • Obs.: as emissões de SO2 alcançam valores tão altos quanto 6.180 mg/Nm3, o que não é mostrado no gráfico.

Figura A.3.2 — Emissões médias de 24 horas da Pampa Sul em 2022 e os limites de emissão específicos da usina

Pampa Sul – emissões médias de 24 horas (2023)

■ NOx ■ SO2 ■ PM



Fonte: Ambar Energia (2024)

Figura A.3.3 — Emissões médias de 24 horas da Pampa Sul em 2023 e os limites de emissão específicos da usina

Anexo 4

Preocupações com a conformidade e a aplicação das normas regulamentares

Existem diversos marcos legais ambientais relacionados às emissões do carvão, incluindo o Código de Mineração Brasileiro (Decreto-Lei 227/1967, atualizado pela Lei 13.575/2017), a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/1981), a Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998), a Resolução CONAMA 01/1986 e os sistemas de licenciamento ambiental estaduais (Presidência da República, 1967, 1986, 2017; CONAMA 1986, 2018).

Em relação às emissões, o marco regulatório brasileiro distingue entre (i) padrões de qualidade do ar ambiente, estabelecidos pela Resolução CONAMA 491/2018, atualizada pela CONAMA 506/2024; (ii) padrões de emissão para fontes estacionárias, definidos na Resolução CONAMA 382/2006, atualizada pela CONAMA 501/2021; e (iii) limites de emissão específicos da usina, estabelecidos por meio de licenças ambientais de operação emitidas por autoridades estaduais.

As usinas termelétricas a carvão analisadas neste estudo possuem limites de emissão específicos, estabelecidos em suas licenças. Por exemplo, a Licença de Operação Candiota III nº 1520/2019 estabelece os seguintes limites, corrigidos para 6% de oxigênio: Material Particulado (MP): 50 mg/Nm³, Dióxido de Enxofre (SO₂): 400 mg/Nm³ e Óxidos de Nitrogênio (NO_x): 400 mg/Nm³.

Anexo 5

Tabela A.5.1 — Impactos históricos à saúde e à economia (2017–2025) pela poluição do ar (PM_{2.5} e NO₂) dos projetos de carvão em Candiota

Resultados de Saúde	Mina de carvão de Candiota e usina termelétrica a carvão Candiota III	Mina de carvão Seival Sul e usina termelétrica a carvão Pampa Sul (2019–2025)	Todos os projetos de carvão combinados
Novos casos de asma em crianças	70 (10–150)	10 (0–20)	70 (20–170)
Visitas ao pronto-socorro por asma	530 (310–750)	80 (50–120)	610 (360–860)
Nascimentos com baixo peso	90 (30–160)	10 (0–20)	100 (30–180)
Nascimentos prematuros	150 (70–160)	20 (10–20)	180 (80–190)
Falta no trabalho (dias de licença médica)	149.000 (126.000–170.000)	23.000 (19.000–26.000)	172.000 (145.000 -196.000)
Anos vividos com incapacidade			
Doença pulmonar obstrutiva crônica	120 (40–240)	20 (10–40)	140 (40–270)
Diabetes	320 (170–440)	50 (30–70)	370 (200–510)
AVC	90 (30–170)	10 (0–30)	100 (30–200)
Óbitos			
PM _{2.5}	360 (280–450)	60 (40–70)	420 (320–520)
NO ₂	10 (10–30)	0 (0–5)	20 (10–30)
PM _{2.5} +NO ₂	370 (290–480)	60 (40–70)	430 (330–550)
Economia			

Custo econômico bilhões (USD) (2023)	0.9 (0.6–1.1)	0.1 (0.1–0.2)	1.0 (0.7–1.2)
Custo econômico bilhões (BRL) (2023)	4,5 (3,0–5,5)	0,6 (0,5–0,8)	5,1 (3,5–6,3)

Tabela A.5.2 — Impactos futuros à saúde e à economia (2026–2040) pela poluição do ar (PM_{2.5} e NO₂) dos projetos de carvão em Candiota

Resultados de Saúde	Mina de carvão de Candiota e usina termelétrica a carvão Candiota III	Mina de carvão Seival Sul e usina termelétrica a carvão Pampa Sul	Todos os projetos de carvão combinados
Novos casos de asma em crianças	110 (20–240)	20 (0–30)	120 (30–270)
Visitas ao pronto-socorro por asma	930 (560–1.300)	180 (110–260)	1.120 (670–1.560)
Nascimentos com baixo peso	140 (40–240)	30 (10–50)	170 (50–290)
Nascimentos prematuros	240 (110–250)	50 (20–50)	280 (140–300)
Falta no trabalho (dias de licença médica)	283.000 (241.000–325.000)	56.000 (47.000–64.000)	338.000 (288.000–389.000)
Anos vividos com incapacidade			
Doença pulmonar obstrutiva crônica	230 (70–460)	40 (10–90)	270 (90–550)
Diabetes	640 (350–880)	130 (70–170)	770 (470–1,050)
AVC	170 (60–340)	30 (10–70)	200 (70–410)
Óbitos			
PM _{2.5}	700 (540–870)	140 (110–170)	840 (650–1.040)
NO ₂	30 (10–60)	0 (0–10)	30 (20–70)
PM _{2.5} + NO ₂	730 (560–930)	140 (110–180)	870 (670–1.110)

Economia			
Custo econômico bilhão (USD) (2023)	1.1 (0.9–1.5)	0.2 (0.2–0.3)	1.3 (1.1–1.8)
Custo econômico bilhão (BRL) (2023)	5,5 (4,5–7,5)	1,1 (0,8–1,4)	6,6 (5,3–8,9)

Referências

Achakulwisut, P., Brauer, M., Hystad, P. and Anenberg, S. C. (2019). Global, National, and Urban Burdens of Paediatric Asthma Incidence Attributable to Ambient NO₂ Pollution: Estimates from Global Datasets. *Lancet*, 3 (4): E166-E178.

[https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30046-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30046-4)

Amanhã. (2017). BRDE financia R\$ 31,5 milhões para a mina do Seival. Amanhã.

<https://amanha.com.br/categoria/negocios-do-sul1/brde-financia-r-31-5-milhoes-para-a-mina-do-seival>

Ambar energia. (2025a). Qualidade do Ar e Meteorologia 2024.

Ambar energia. (2025b). Emissões UTE Candiota III-2024.

Anenberg, S., Henze, D., Tinney, V., Kinney, P., Raich, W., et al. (2018). Estimates of the Global Burden of Ambient PM_{2.5}, Ozone, and NO₂ on Asthma Incidence and Emergency Room Visits. *Environmental Health Perspectives*, 126(10).

<https://doi.org/10.1289/EHP3766>

ARAYARA. (2025). Coal mine data: 2025-08-12-CRM-Seival.

Birchby, D., Stedman, J., Whiting, S. and Vedrenne, M. (2019). Air Quality Damage Cost Update 2019. 2019. Ricardo/ED59323/Issue Number 2.0.

https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1902271109_Damage_cost_update_2018_FINAL_Issue_2_publication.pdf

da Silva Bonifácio, A., de Lima Brum, R., Tavella, R. A., They, N. H., Nadaleti, W. C., Coronas, M. V., ... & da Silva Júnior, F. M. R. (2024). Health impact assessment of air pollutants in simulated temperature scenarios in the largest coal mining region of Brazil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100923.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016424003177#sec5>

Brandt, S.J., Perez, L., Künzli, N., Lurmann, F. and McConnell, R. (2012). Costs of childhood asthma due to traffic-related pollution in two California communities. *European Respiratory Journal*, Aug. 2012, 40(2): 363-370. <https://doi.org/10.1183/09031936.00157811>

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., et al. (2018). Global Estimates of Mortality Associated with Long-Term Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter. *Proceeding of the National Academies of Science*, 115 (38): 9592-9597.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115> .

Burnett, R. T., Spadaro, J. V., Garcia, G. R., & Pope, C. A. (2022). Designing health impact functions to assess marginal changes in outdoor fine particulate matter. *Environmental Research*, 204, 112245.

Câmara dos Deputados. (2023). Câmara aprova exploração de energia eólica em alto mar, com reserva para carvão. Agência Câmara de Notícias. (29/11/2023).
<https://www.camara.leg.br/noticias/1020965-CAMARA-APROVA-EXPLORACAO-DE-ENERGIA-EOLICA-EM-ALTO-MAR,-COM-RESERVA-PARA-CARVAO>

Chawanpaiboon, S., Vogel, J., Moller, A., Lumbiganon, P., Petzold, M., et al. (2018). Global, Regional, and National Estimates of Levels of Preterm Birth in 2014: A Systematic Review and Modelling Analysis. *Lancet Global Health*, 2018.
[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30451-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30451-0)

CIESIN (2018). Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density Adjusted to Match 2015 Revision UN WPP Country Totals, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), 2018.
<https://doi.org/10.7927/H4F47M65>

CONAMA. (1986). RESOLUÇÃO CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986 Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549, (17 February, 1986).
https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2018). Resolução CONAMA Nº 491 DE 19/11/2018. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369516>

Corrêa da Silva, Z. (1993). Candiota coalfield: A world-class Brazilian coal deposit. *International Journal of Coal Geology*, 23(1-4), 103-116.
[https://doi.org/10.1016/0166-5162\(93\)90045-C](https://doi.org/10.1016/0166-5162(93)90045-C)

DiscoveryAlert. (2025). Brazil's Coal Dependency Despite Leading Renewable Energy Production.

<https://discoveryalert.com.au/brazil-coal-paradox-regulatory-challenges-2025/>

Eixos. (2023). Indústria do carvão mineral ainda aposta na extensão dos contratos de Candiota e Figueira no Congresso Nacional. (19/12/2023).

<https://eixos.com.br/energia-eletrica/industria-do-carvao-mineral-ainda-aposta-na-extensao-dos-contratos-de-candiota-e-figueira-no-congresso-nacional/>

European Environment Agency (EEA). (2009). Fugitive emissions from solid fuels: Coal mining and handling. Guidebook 2009.

<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-b-fugitives/1-b-1-a-coal-mining-and-handling.pdf>

European Environment Agency (EEA). (2014). Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2012 — an updated assessment. EEA Technical report No 20/2014.

<https://www.eea.europa.eu/publications/costs-of-air-pollution-2008-2012>

European Environment Agency (EEA). (2023). Fugitive emissions from solid fuels: coal mining and handling. Guidebook, 2023.

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-b-fugitive-emissions-from-fuels/1-b-1-a-fugitive/@download/file>

Exponent (2015). CALPUFF Modeling System. Website - <http://www.src.com>. Last accessed on 21 October 2025.

Folha do Sul. (2025). MP que garantirá funcionamento da usina deve ser publicada hoje. (22/05/2025).

https://www.jornalfolhadosul.com.br/noticias/politica/mp_que_garantira_funcionamento_da_usina_deve_ser_publicada_hoje.15430802

GEM. (2024). Seival Coal Mine. https://www.gem.wiki/Seival_Coal_Mine

GEM. (2025). Candiota Coal Mine. https://www.gem.wiki/Candiota_Coal_Mine

GEM. (2026). Presidente Médici Candiota power station.

https://www.gem.wiki/Presidente_M%C3%A9dici_Candiota_power_station

Global Burden of Disease (2020). Global Burden of 87 Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990–2019: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet, 396 (10258): P1223-1249. [doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2)

Global Health Rights. (2010). CONSTITUTION OF THE FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL 3rd Edition.

<https://www.globalhealthrights.org/wp-content/uploads/2013/09/Brazil-constitution-English.pdf>

Governo do Estado do Rio Grande do Sul. (2017). BRDE financia R\$ 31,5 milhões para ampliar mineração de carvão em Candiota.

<https://estado.rs.gov.br/brde-financia-r-31-5-milhoes-para-ampliar-mineracao-de-carvao-em-candiota>

Greenpeace. (2020). Toxic Air: The Price of Fossil Fuels.

<https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2020/02/The-Price-of-Fossil-Fuels-full-report.pdf>

Huangfu, P. and Atkinson, R. (2020). Long-Term Exposure to NO₂ and O₃ and All-Cause and Respiratory Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis. Environment International, 144, 2020, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>

IBAMA. (2019). Licença de Operação (LO) No 1520/2019.

<https://drive.google.com/file/d/1wxMV5llq1Oi7cUA3r5Rul-oZutgejE8m/view>

IPCC. (1994). Non-CO₂ Emissions from Stationary Combustion.

https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_2_Non-CO2_Stationary_Combustion.pdf

Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (2020). GBD Results. Website -

<http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>

Khreis, H., Kelly, C., Tate, J., Parslow, R., Lucas, K. and Nieuwenhuijsen, M. (2017). Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Risk of Development of Childhood Asthma: A

Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental International*, 100: 1-31.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.012>

Jornal Minuano. (2024). Luiz Carlos Folador é reeleito para quarto mandato em Candiota. (the 6th of October, 2024).

<https://www.jornalminuano.com.br/noticia/2024/10/06/luiz-carlos-folador-e-reeleito-para-quarto-mandato-em-candiota>

Larkin, A., Geddes, J., Martin, R., Xiao, Q., Liu, Y., et al. (2017). Global Land Use Regression Model for Nitrogen Dioxide Air Pollution. *Environmental Science & Technology*, 51 (12): 6957-6964. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b01148>

McDuffie, E. E., Martin, R. V., Spadaro, J. V., Burnett, R., Smith, S. J., Hammer, M. S., Van Donkelaar, A., Bindle, L., Shah, V., Jaeglé, L., Luo, G., Yu, F., Adeniran, J. A., Lin, J., & Brauer, M. (2021). Source sector and fuel contributions to ambient PM_{2.5} and attributable mortality across multiple spatial scales. *Nature Communications*, 12(1), 1-12.

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-23853-y>

Mining Technology. (2024). The five largest coal mines in operation in Brazil.

<https://www.mining-technology.com/marketdata/five-largest-coal-mines-brazil/>

Myllyvirta, L. (2020). Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels. Centre for Research on Energy and Clean Air. 2020.

<https://energyandcleanair.org/publications/costs-of-air-pollution-from-fossil-fuels/>

Observatório do Carvão. (2021). BNDES suspende financiamento a usinas termelétricas movidas a carvão.

<https://observatoriodocarvao.org.br/bndes-suspende-financiamento-a-usinas-termelétricas-movidas-a-carvao/>

OECD. (2012). Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies.

<https://doi.org/10.1787/9789264130807-en>.

OECD. (2026). Real GDP long-term forecast, Organisation for Economic Co-operation and Development.

<https://www.oecd.org/en/data/indicators/real-gdp-long-term-forecast.html>

Presidência da República. (1967). Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídico. DECRETO-LEI Nº 227, DE 28 DE FEVEREIRO DE 1967.

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm

Presidência da República. (1981). Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídico. LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm

Presidência da República. (2017). Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídico. LEI Nº 13.575, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017.

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13575.htm

Sapkota, A., Chelikowsky, A., Nachman, K., Cohen, A. and Ritz, B. (2012). Exposure to Particulate Matter and Adverse Birth Outcomes: A Comprehensive Review and Meta-Analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5: 369-381.

<https://doi.org/10.1007/s11869-010-0106-3>

Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., et al. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. University Corporation for Atmospheric Research.

[doi:10.5065/D68S4MVH](https://doi.org/10.5065/D68S4MVH).

State of Global Air. (2024). State of Global Air Report 2024.

<https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024>

Stieb D., Berjawi, R., Emode, M., Zheng, C., Salama, D., et al. (2021). Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies of Long Term Outdoor Nitrogen Dioxide Exposure and Mortality. *PLoS ONE*, 16(2): e0246451. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246451>

Trasande, L., Malecha, P. and Attina, T. (2016). Particulate Matter Exposure and Preterm Birth: Estimates of U.S. Attributable Burden and Economic Costs. *Environmental Health Perspectives*, 124 (12). <https://doi.org/10.1289/ehp.1510810>

UNICEF. (2019). Clear the air for children.

https://www.unicef.org/sites/default/files/2019-02/Clear_the_Air_for_Children_Executive_summary_ENG.pdf

United Nations (UN). (2019). Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UNPD). World Population Prospects 201., Online Edition. Rev. 1.
<https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>

United Nations (UN). (2024). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2024.
<https://population.un.org/wpp/downloads?folder=Archive&group=Most%20used>

USGS. (2006). World coal quality inventory: Brazil. U.S. Geological Survey Open-file Report 2006-1241. <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1241/Chapter%203-Brazil.pdf>

Valor. (2025). Entities raise concerns over wind power legislation. Valor International. Fábio Couto (01/06/2025).
<https://valorinternational.globo.com/business/news/2025/01/06/entities-raise-concerns-over-wind-power-legislation.ghtml>

van Donkelaar, A., Hammer, M., Bindle, L., Brauer, M., Brook, J., Garay, M., Hsu, N., Kalashnikova, O., Kahn, R., Lee, C., Levy, R., Lyapustin, A., Sayer, A., and Martin, R. (2021). Monthly Global Estimates of Fine Particulate Matter and Their Uncertainty Environmental Science & Technology, 2021, doi:10.1021/acs.est.1c05309.

Weaver, J. & Wood, G. (1994). Coal Map of South America. U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR U.S. GEOLOGICAL SURVEY. <https://pubs.usgs.gov/coal/145/report.pdf>

World Energy. (2024). Brazilian Senate Passes Offshore Wind Bill Amended to Include Gas, Coal Provisions; President Expected to Veto Fossil Fuel Additions.
<https://www.world-energy.org/article/47348.html>

World Health Organization (WHO) (2013). WHO: Health Risks of Air Pollution in Europe-HRAPIE Project.
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1

World Health Organization (WHO). (2018). *Air pollution and child health: prescribing clean air: summary* (No. WHO/CED/PHE/18.01). World Health Organization.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/275545/WHO-CED-PHE-18.01-eng.pdf?sequence=2>

World Health Organization (WHO). (2024). Ambient (outdoor) Air Pollution.

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Zheng, X., Ding, H., Jiang, L., Chen, S., Zheng, J., et al. (2015). Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital admissions in time series studies: a systematic review and meta-analysis. PLoS One, 10(9): e0138146.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138146>.