

ESTUDO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA -UTE CANDIOTA III

ANEXO IV– INVENTÁRIO DE EMISSÕES

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 4

2. DESCRIÇÃO DAS UTEs 5

3. DESCRIÇÃO DAS MINAS DE CARVÃO 8

 3.1. Mina CRM 8

 3.2. Mina SSM..... 9

4. ESTIMATIVA DE EMISSÕES 9

 4.1. Estimativa de Emissões – Mina CRM..... 18

 4.2. Estimativa de Emissões – Mina SSM 21

5. CONCLUSÃO 28

REFERÊNCIAS 29

Lista de Tabelas

TABELA 1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS USINAS TERMELÉTRICAS CONSIDERADAS NO ESTUDO	7
TABELA 2 - PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO DE POLUENTES PARA ÁREA DE MINERAÇÃO	12
TABELA 3 - EQUAÇÕES E DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA AS ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO (MP ₁₀).....	15
TABELA 4 – TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À PERFURAÇÃO	18
TABELA 5 – TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À DETONAÇÃO	18
TABELA 6 – TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À ESCAVAÇÃO E MANUSEIO	18
TABELA 7 – TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À TERRAPLANAGEM	18
TABELA 8 – TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À MOVIMENTAÇÃO (CARREGAMENTO)	18
TABELA 9N– TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À MOVIMENTAÇÃO (BASCULAMENTO).....	19
TABELA 10 – TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À BRITAGEM.....	19
TABELA 11 – TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES À ÁREAS EXPOSTAS (PILHAS)	19
TABELA 12 - TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ REFERENTES ÀS VIAS NÃO PAVIMENTADAS	19
TABELA 13 – TAXAS DE EMISSÕES DE MP ₁₀ PARA MÁQUINAS INDUSTRIAIS (INCLUINDO CAMINHÕES FORA DE ESTRADA) EM FUNÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DA FROTA PARA PRODUÇÃO DE 5 MILHÕES DE TONELADAS POR ANO.....	20
TABELA 14 – TAXAS DE EMISSÕES DE MP ₁₀ PARA MÁQUINAS ESTACIONÁRIAS EM FUNÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DA FROTA PARA PRODUÇÃO DE 5 MILHÕES DE TONELADAS POR ANO	21
TABELA 15 – DISTRIBUIÇÃO DAS TAXAS DE EMISSÃO TOTAIS DE MP ₁₀ NAS FONTES DE EMISSÃO	22
TABELA 16 – FASES DO PROCONVE VERSUS ANO DE FABRICAÇÃO (CICLO DIESEL). FONTE: PROCONVE (2013).....	25
TABELA 17 – FATORES DE EMISSÃO E TAXAS DE EMISSÕES DE MP ₁₀ DOS VEÍCULOS QUE TRAFERAM NAS ÁREAS DAS MINAS.....	25
TABELA 18– CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (DIESEL), FATORES DE EMISSÃO (NPI, 2002, 2008) E TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ PARA MÁQUINAS ESTACIONÁRIAS NAS ÁREAS DAS MINAS	27
TABELA 19 – CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (DIESEL), FATORES DE EMISSÃO (NPI, 2002, 2008) E TAXAS DE EMISSÃO DE MP ₁₀ PARA MÁQUINAS ESTACIONÁRIAS NA ÁREA DO BENEFICIAMENTO	27

Lista de Figuras

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS OPERACIONAIS DO EMPREENDIMENTO, ÁREA DE MINERAÇÃO CRM E SSM E ÁREA DO BENEFICIAMENTO	12
---	----

1. INTRODUÇÃO

O inventário de emissões é o estudo e levantamento das fontes poluidoras e tem por objetivo identificar, localizar, quantificar e qualificar os poluentes que estão sendo emitidos na atmosfera. O inventário de emissões tem sido um instrumento fundamental no gerenciamento da qualidade do ar uma vez que a quantificação das emissões é importante para o desenvolvimento de estratégias que determinam a aplicabilidade de programas de controle e de mitigação apropriada (EPA, 1994). Por meio do inventário de emissões é possível conhecer os pontos críticos de emissões dos diversos poluentes. Além de quantificar as emissões, o inventário permite verificar se existem desperdícios no processo, facilitando controle e acompanhamento.

Esse anexo apresenta a identificação das fontes e a estimativa de emissões fugitivas geradas pela operação de mineração de carvão para abastecer as Usinas Termelétricas na região de estudo. A exploração de carvão é realizada na Mina Candiota pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM), que abastece a UTE Candiota III e pela Seival Sul de Mineração Ltda (SSM), que abastece a UTE Pampa Sul. Destaca-se que as maiores jazidas de carvão mineral do Brasil estão localizadas no Rio Grande do Sul, em Candiota/RS, e nos estados de Santa Catarina e Paraná.

A extração e o beneficiamento de carvão mineral geram emissões de material particulado inalável (MP_{10}), que ocorrem em diversas fases da operação. Uma parcela substancial dessas emissões consiste em partículas pesadas que podem se depositar dentro dos limites da planta. Outra parte das emissões são caracterizadas por emissões fugitivas provenientes das atividades de perfuração, detonação, escavação, terraplanagem, ressuspensão de vias não pavimentadas, movimentação de material e tráfego de máquinas e veículos. As emissões de fontes de processo devem ser consideradas fugitivas, a menos que as fontes sejam ventiladas para um filtro de mangas ou estejam contidas em um recinto com ventilação forçada ou chaminé.

O método aplicado para o cálculo das emissões atmosféricas de MP_{10} é baseado na utilização de fatores de emissão. De acordo com EPA (1995a), um fator de emissão é um valor representativo que relaciona a quantidade de um poluente emitido na atmosfera com uma atividade associada à liberação daquele poluente. Estes fatores são usualmente

expressados como a massa de poluente dividida por uma unidade de massa, volume, distância ou duração da atividade.

2. DESCRIÇÃO DAS UTEs

Na região de estudo estão instaladas duas UTEs: UTE Candiota III e UTE Pampa Sul. O abastecimento de carvão para a UTE Candiota é explorado na Mina Candiota pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e para a UTE Pampa Sul é explorado pela Seival Sul de Mineração Ltda (SSM).

A UTE Candiota III compreende um conjunto da geração de 350 MW de energia elétrica em 13,8 kV. Seu rendimento global é de 41,5% (2005) e seus principais equipamentos são uma turbina, um alternador e uma caldeira. A UTE utiliza o carvão mineral pulverizado para a produção de energia elétrica.

Para o controle de abatimento das emissões, a Fase C da UTE Candiota III dispõe de dois precipitadores eletrostáticos e um dessulfurizador. O sistema de dessulfurização adotado é do tipo semiseco e emprega a cal virgem como agente dessulfurizante. As vantagens desse processo de são a alta eficiência (redução das emissões de SO₂ superior a 80% e de abatimento de material particulado superior a 99%) e o baixo consumo de água. O controle das emissões de óxidos nitrogênio (NO_x) é realizado por queimadores de baixa emissão de NO_x (queimadores Low-NO_x).

A UTE Pampa Sul, tem uma potência instalada de 340 MW (1 x 340 MW), e mais 340 MW (1 x 340 MW), que está em processo de licenciamento ambiental, com rendimento global bruto de 41% e líquido de 35%. Seu projeto consiste na instalação de duas caldeiras com tambor tipo torre, circulação natural, tiragem balanceada e combustão em leito fluidizado, dedicadas ao suprimento de energia primária para duas turbinas a vapor acopladas aos geradores elétricos.

O material particulado deverá ser removido por meio de filtro de mangas ou de precipitador eletroestático, uma vez que ambos apresentam alta eficiência, aproximadamente 99%. Já o controle da emissão de SO_x será realizado através da injeção de calcário diretamente na fornalha (eficiência de 96% de dessulfurização). Quanto à emissão de NO_x, o controle é feito pelo próprio leito fluidizado, que mantém temperaturas mais baixas (entre 800 e 900° C), reduzindo a formação do NO_x térmico.

Com base nas informações coletadas com os empreendedores, apresenta-se na Tabela 1, um resumo das principais características relevantes das UTEs.

Tabela 1 - Principais características das usinas termelétricas consideradas no estudo.

INFORMAÇÕES GERAIS DA UTE							SISTEMAS DE ABATIMENTO DE EMISSÕES E MONITORAMENTO			
EMPRESA	EMPREENHIMENTO	SITUAÇÃO	POTÊNCIA (MW)	TECNOLOGIA	LOCALIZAÇÃO DA FONTE	ALTURA DA FONTE (m)	NO _x	MP	SO _x	SISTEMA DE MONITORAMENTO DOS GASES
ÂMBAR ENERGIA	Candiota III	Operando	350	Carvão pulverizado	6506533 S; 245406 E	200	Queimadores tipo Low NO _x Burners	Precipitadores Eletrostático, uma antes e um após o dessulfurizador	Dessulfurizador a seco com cal hidratada	Sistema de monitoramento contínuo - CEMS
PERFIN SPACE X E GRAFITO	Pampa 1	Operando	340	Leito Fluidizado Circulante (CFB)	6517154 S; 236249 E	200	Leito fluidizado mantém menores temperaturas	Filtros mangas ou precipitador eletrostático	Injeção de calcário diretamente na fornalha da caldeira	Equipamentos de monitoramento contínuo das emissões atmosféricas
	Pampa 2	Licenciamento	340		6517069 S; 236249 E	200				

Fonte: Adaptada do Estudo da Dispersão de Poluentes – Região da UTE Candiota III (2026).

3. DESCRIÇÃO DAS MINAS DE CARVÃO

Além da emissão de poluentes a partir das fontes pontuais (chaminés), ocorrem, também, emissões fugitivas nas operações de mineração, transporte, armazenamento e manuseio do carvão mineral. O carvão é formado pela decomposição da matéria orgânica durante milhões de anos, sob determinadas condições de temperatura e pressão (ANEEL, 2008). Na região de estudo a exploração do recurso é realizado na mina Candiota pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM) (**Mina CRM**) que abastece atualmente a UTE Candiota III e pela Seival Sul de Mineração Ltda (SSM) que abastece a UTE Pampa Sul (**Mina SSM**).

3.1. MINA CRM

A lavra de carvão na Mina Candiota é a céu aberto e seu avanço se dá na direção oeste - sudoeste de mergulho das camadas de carvão. Atualmente, na Mina de Candiota da CRM são mineradas quatro camadas de carvão, que a contar da posição mais próxima à superfície são identificadas por S3, BL (Banco Louco), BS (Banco Superior) e BI (Banco Inferior). A relação estéril/minério da jazida se situa entre 2 e 2,5 m³/t.

Tipicamente para o caso da Mina de Candiota, da massa total de produto fornecida à usina, após a combustão, resulta cerca de 45% de cinza leve e 5% de cinza pesada. A cinza pesada é integralmente depositada nas cavas geradas com a extração do carvão na mina. A cinza leve é comercializada em parte e o restante é acondicionada nas cavas da mineração.

O transporte do carvão pode ocorrer mediante estruturas estáticas, caso dos transportadores de correia (mais capital intensivo e com menor custo operacional), ou com arranjos mais flexíveis, caso de uma frota de caminhões (menos capital intensivo e custo mais elevado no curso das operações).

No atual arranjo operacional da CRM para suprimento de carvão para a UTE Candiota III, depois de cominuído, segue até o pátio coberto da UTE, cuja capacidade atual é de 140.000 toneladas. O transporte do carvão ocorre por meio de dois transportadores de correias (TC-01 e TC-02) com capacidade nominal de transporte de 900 t/h. No pátio da UTE, o carvão é distribuído em pilha, através de lança móvel, e espalhado por tratores de esteira ou direcionado para os silos internos da usina.

3.2. MINA SSM

A lavra de carvão na Mina do Seival também é a céu aberto e tem por objetivo fornecer carvão à Usina Termelétrica Pampa Sul. O método de lavra adotado, de mineração a céu aberto em tiras, denominado de stripping mining (corte e aterro), é um método amplamente utilizado na mineração de carvão a céu aberto. Consiste na mineração de cortes paralelos e subsequentes, onde o material estéril proveniente do corte em lavra fará o enchimento do corte imediatamente anterior e já minerado.

Basicamente, o método consiste em remover a cobertura estéril (argilas, siltitos e arenitos) através de escavadeira combinada com caminhões, que transportam o material para o preenchimento do corte já minerado. Os materiais de cobertura que apresentarem maior dificuldade para serem escavados serão desmontados com uso de explosivos. O transporte do carvão para a área de beneficiamento é realizado por meio de caminhões 8x4 de 45 toneladas de capacidade e através de esteiras transportadoras da área de beneficiamento para a UTE Pampa Sul.

4. ESTIMATIVA DE EMISSÕES

O método aplicado para o cálculo das emissões atmosféricas de MP₁₀ a partir das Minas CRM e SSM é baseado na utilização de fatores de emissão. De acordo com EPA (1995a), um fator de emissão é um valor representativo que relaciona a quantidade de um poluente emitido na atmosfera com uma atividade associada à liberação daquele poluente. Estes fatores são usualmente expressados como a massa de poluente dividida por uma unidade de massa, volume, distância ou duração da atividade. Tais fatores facilitam a estimativa das emissões a partir de várias fontes de poluição do ar.

A equação geral para a estimativa da taxa de emissão é:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (1)$$

onde E é a taxa de emissão, A é a taxa de atividade ou consumo, EF é o fator de emissão e ER é a eficiência de controle de poluição (%).

Entre as várias referências para obter os fatores de emissão pode-se citar AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, apresentada pela U.S. EPA, e National

Pollutant Inventory (NPI), apresetada pela Environment Australia. Tanto AP-42 quanto NPI são documentos aceitos por diversos órgãos ambientais dentro e fora do país.

A estimativa de emissões para a atividade de produção é realizada para as áreas de mineração (cavas) e áreas de beneficiamento. Para cada uma das áreas de mineração, considera-se a produção contínua durante o período de um ano, de forma que seja avaliado o cenário mais conservativo. A Figura 1 mostra a localização das áreas de mineração CRM e SSM em relação às UTEs Candiota III e Pampa Sul.

Nas áreas das minas ocorrem os processos de perfuração, detonação, escavação, terraplanagem, ressuspensão de vias não pavimentadas, movimentação de material e tráfego de máquinas e veículos. Na área do beneficiamento ocorrem o arraste eólico de pilhas de material, transferência de material por esteira e tráfego de veículos. Os processos relevantes no contexto das emissões atmosféricas das operações de mineração estão apresentados na Tabela 2.

Cada um dos processos ou atividades de produção pode ser definido como:

- ✦ Perfuração e Detonação: é gerada a partir das explosões para o desmonte do solo mais compacto (detonação), que antecede a retirada do material. Anteriormente à detonação ocorre o processo de perfuração, no qual o solo é perfurado para a instalação dos explosivos. A operação é feita por perfuratrizes, as quais realizam os furos, ocasionando a emissão de material particulado.
- ✦ Terraplenagem: o nivelamento do solo por motoniveladoras ocasiona a movimentação de material e a consequente emissão de material particulado para a atmosfera.
- ✦ Transferência de Material: o material é transportado da área de extração na mina até a área de beneficiamento. As transferências de materiais ocorrem nas operações de carregamento e descarregamento de caminhões, empilhamento dos materiais, transporte em esteiras e em pontos de transferência de circuitos de esteiras transportadoras.
- ✦ Beneficiamento: o material que é conduzido ao beneficiamento, é levado para britadores por esteiras transportadoras de material e, devido à

movimentação, representam importante fonte de partículas inalável para a atmosfera.

- ✚ Erosão Eólica: emissões de material particulado ocorrem a partir da ação do vento sobre pilhas de material a céu aberto dentro de uma área de mineração. As pilhas de material são caracterizadas por superfícies não homogêneas compostas por material erodível (partículas finas) e material não erodíveis (partículas maiores).
- ✚ Vias não Pavimentadas: quando veículos e máquinas industriais trafegam em vias ou áreas não pavimentadas, ocasionam a ressuspensão de material particulado para a atmosfera devido ao atrito exercido pelas rodas na superfície. A turbulência mecânica provocada pela circulação dos veículos desloca um volume de ar e partículas na superfície da via não pavimentada. A quantidade de material particulado emitida é diretamente proporcional à quantidade de veículos que circulam a mesma.
- ✚ Queima de Combustível: quando veículos e máquinas industriais trafegam por vias e áreas do empreendimento, emitem material particulado inalável devido à queima incompleta de combustíveis fósseis. A quantidade de material particulado emitida em uma via de tráfego ou uma área é diretamente proporcional à quantidade de veículos que circulam a mesma.

Figura 1 - Localização das áreas operacionais do empreendimento, área de mineração CRM e SSM e área do beneficiamento.

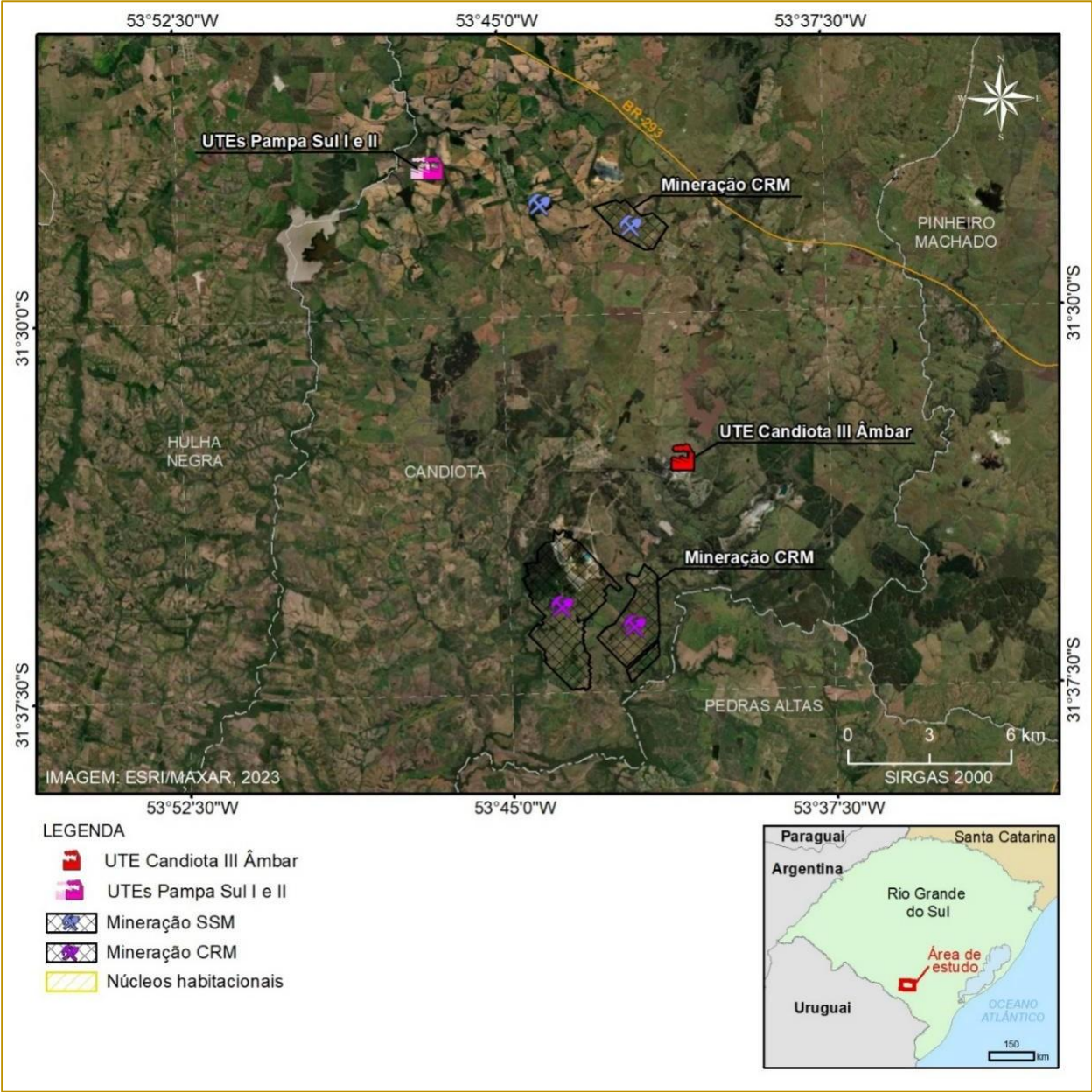


Tabela 2 - Principais Fontes de emissão de poluentes para área de mineração.

FASE	FONTES
PRODUÇÃO	Perfuração Detonação Escavação e manuseio Terraplanagem Movimentação de material Arraste eólico Vias não pavimentadas Máquinas industriais Máquinas estacionárias Veículos automotores

A Tabela 3 apresenta as equações e os parâmetros necessários para as estimativas de emissões de material particulado inalável (MP_{10}). As referências utilizadas para compor a metodologia dos cálculos das estimativas de emissão são listadas na última coluna da Tabela 3.

Ressaltam-se alguns detalhes técnicos fundamentais para aplicação das equações de estimativas de emissões em minas de carvão. O resultado do cálculo da taxa de emissão de MP_{10} a partir da detonação de carvão e estéril é dada em kg/h, mas a emissão ocorre em alguns poucos minutos (em torno de 01 a 02 minutos em média). Desta forma, procedeu-se a uma correção da taxa de emissão para uma condição mais realística de intervalo de emissão nessa atividade de produção.

Uma outra questão diz respeito às emissões geradas pela erosão eólica, que dependem da frequência de perturbação da superfície erodível, pois cada vez que uma superfície é perturbada, seu potencial de erosão é restaurado (EPA, 2018b). Uma perturbação é definida como uma ação que resulta na exposição de material superficial, sendo que, em uma pilha de armazenamento, isso ocorreria sempre que material agregado fosse adicionado ou removido da superfície antiga. A frequência de perturbação é utilizada, no cálculo, para determinar quantas vezes a velocidade de fricção ultrapassa a velocidade limiar de fricção, sendo que a série de velocidade de fricção é determinada a partir de dados de velocidade do vento observada. Neste caso, adotou-se o critério que as superfícies das pilhas de material sofrem perturbação a cada 01 (uma) hora, em parte devido a frequência de material adicionado pela atividade de produção e em parte devido a frequência da série de dados de velocidade do vento (média horária). Somente dados válidos de velocidade do vento, observados na EMS do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Bagé-RS (A827), foram considerados no intervalo de 01 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2025.

Algumas equações para as estimativas de emissões dependem de dados e informações meteorológicas. Para o cálculo das taxas de emissão referentes à movimentação e transferência de material, a velocidade média do vento utilizada é a normal climatológica da região, obtida da série de dados de 1991 a 2020 do INMET. Para a estimativa da taxa de emissão de erosão eólica de pilhas de materiais, a velocidade de fricção é calculada a partir da série de dados horários de velocidade do vento em 10 m, monitorada na EMS do INMET (A827) entre 01 de janeiro de 2020 e 31 de dezembro de 2025. Para a estimativa da taxa de emissão de MP_{10} devido à ressuspensão de material em

vias não pavimentadas, é necessário determinar o número de dias, em 01 ano, com pelo menos 0,254 mm de precipitação. Para obter essa quantidade, foi realizada uma análise da série de dados de precipitação monitorada na EMS do INMET em Bagé-RS (A827), entre 01 de janeiro de 2023 a 31 de dezembro de 2025, foram considerados 3 anos de informações meteorológicas, e chegou à conclusão que ocorreram 127 dias com precipitação igual ou maior do que 0,254 mm.

Tabela 3 - Equações e definição dos parâmetros para as estimativas de emissões de material particulado (MP₁₀).

PROCESSO	FÓRMULA	PARÂMETROS	REFERÊNCIA
PERFURAÇÃO DE CARVÃO	$TE = EF \times \frac{NF}{24}$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] EF = fator de emissão do poluente [kg/h] NF = número de furos [nº furos/dia]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
PERFURAÇÃO DE ESTÉRIL	$TE = EF \times \frac{NF}{24}$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] EF = fator de emissão do poluente [kg/h] NF = número de furos [nº furos/dia]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
DETONAÇÃO DE CARVÃO E ESTÉRIL	$TE = k \times [0,00022 \times A^{1,5}] \times \frac{DET}{24}$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] k = multiplicador de tamanho de partícula [adimensional] A = área superficial detonada [m²] DET = quantidade de detonações por dia [nº de detonações]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
ESCAVAÇÃO E MANUSEIO DO CARVÃO	$TE = \left[\frac{0,75 \times 8,44 \times s^{1,5}}{M^{1,4}} \right] \times \frac{HT}{8760}$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] s = teor de silt no material escavado/manuseado [%] M = teor de umidade do material escavado/manuseado [%] HT = quantidade de horas trabalhadas pelas escavadeiras [horas trabalhadas/ano]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
ESCAVAÇÃO E MANUSEIO DO ESTÉRIL	$TE = \left[\frac{0,75 \times 8,44 \times s^{1,5}}{M^{1,4}} \right] \times \frac{HT}{8760}$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] s = teor de silt no material escavado/manuseado [%] M = teor de umidade do material escavado/manuseado [%] HT = quantidade de horas trabalhadas pelas escavadeiras [horas trabalhadas/ano]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
TERRAPLENAGEM	$TE = 0,6 \times 0,0056 \times S^2 \times \frac{DMT}{8760}$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] S = velocidade média de operação da motoniveladora [km/h] DMT = distância média trafegada pelas motoniveladoras [km]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL (CARREGAMENTO DE CARVÃO)	$TE = \frac{0,75 \times 0,0596}{M^{0,9}}$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] M = teor de umidade do material movimentado [%]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)

MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL (BASCULAMENTO DE CARVÃO)	$TE = [k \times 0,0016 \times \frac{(\frac{U}{2,2})^{1,3}}{(\frac{M}{2})^{1,4}}] \times Q$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] k = multiplicador de tamanho de partícula [adimensional] U = velocidade média do vento [m/s] M = umidade do material [%] Q = taxa de movimentação de materiais [t/h]	Section 13.2.4 – Aggregate Handling And Storage Piles (USEPA, 2018)
BRITAGEM DE CARVÃO	$TE = EF \times Q$	TE = taxa de emissão do poluente i [kg/h]; EF = fator de emissão do poluente i [kg/t] Q = Quantidade do material britado[t/h]	Section 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing (USEPA, 2018)
TRANSFERÊNCIAS DE CARVÃO (ESTEIRA)	$TE = [k \times 0,0016 \times \frac{(\frac{U}{2,2})^{1,3}}{(\frac{M}{2})^{1,4}}] \times Q$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] k = multiplicador de tamanho de partícula [adimensional] U = velocidade média do vento [m/s] M = umidade do material [%] Q = taxa de movimentação de materiais [t/h]	Section 13.2.4 – Aggregate Handling And Storage Piles (USEPA, 2018)
EROSÃO EÓLICA (PILHAS DE MATERIAL)	$TE = EF \times \frac{A}{1000}$ $EF = k \times \sum_{i=1}^N P_i$ $P = 58 \times (u^* - u_t^*) + 25 \times (u^* - u_t^*)$ $P = 0, \text{ para } u^* \leq u_t^*$	TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h] A = Área suscetível ao arraste eólico [m²] EF = fator de emissão [g/m²] k = multiplicador de tamanho de partícula [adimensional] (k = 0,5 para PM ₁₀) P _i = potencial de erosão correspondente a fastest mile do vento observada (ou provável) para o i-ésimo período entre os distúrbios [g/m²] N = número de distúrbios por período u* = velocidade de fricção [m/s] u _t * = velocidade limiar de fricção [m/s] U ₁₀ =velocidade do vento em 10 m (série de dados observada na estação meteorológica)	Section 13.2.5 – Industrial Wind Erosion (USEPA, 2018)

PROCESSO	FÓRMULA	PARÂMETROS	REFERÊNCIA
RESSUSPENSÃO DE PARTÍCULAS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS	$TE = [281,9 \times k \times (\frac{s}{12})^a \times (\frac{W}{3})^b \times 10^{-3}] \times [\frac{(365 - P)}{365}] \times DM$	TE _i = taxa de emissão do poluente [kg/h] k = multiplicador de tamanho de partícula [lb/VMT] s = teor de silte em vias não pavimentadas [%] a = Constante empírica para cada classe de partícula [adimensional] b = Constante empírica para cada classe de partícula [adimensional] W = peso médio dos veículos [ton]	Section 13.2.2 – Unpaved Roads (USEPA, 2018)

		DMT = distância média trafegada na via [km/h] P = Fator de atenuação devido à precipitação (dias por ano com pelo menos 0,254 mm)	
--	--	---	--

4.1. ESTIMATIVA DE EMISSÕES – MINA CRM

As Tabelas 4 a 12 apresentam as taxas de emissão de material particulado (MP₁₀) relacionadas às atividades de produção na Mina CRM. As emissões ocorrem de áreas específicas e, assim, as taxas de emissão totais em g/s são divididas pelas áreas onde ocorrem, gerando as taxas de emissão em g/s m². As taxas de emissão totais em g/s m² são informadas diretamente ao modelo de dispersão CALPUFF.

Tabela 4 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à perfuração.

	E (KG/H)	E (G/S)	E (G/S M ²)		
			ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 2	ÁREA MINA 3
			10892324 m ²	4419782 m ²	669572 m ²
ESTÉRIL	0,3324	0,0923	8,4757E-09	2,0888E-08	1,3788E-07
CARVÃO	0,1083	0,0301	2,7625E-09	6,8080E-09	4,4939E-08

Tabela 5 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à detonação.

	E (KG/H)	E (G/S)	E (G/S M ²)		
			Área Mina 1	Área Mina 1	Área Mina 1
			10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
ESTÉRIL	0,1129	0,0314	2,8796E-09	7,0965E-09	4,6843E-08
CARVÃO	2,1178	0,5883	5,4008E-08	1,3310E-07	8,7857E-07

Tabela 6 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à escavação e manuseio.

E (KG/H)	E (G/S)	E (G/S M ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 2	ÁREA MINA 3
		10892324 m ²	4419782 m ²	669572 m ²
0,3904	0,1084	9,9555E-09	2,4535E-08	1,6195E-07

Tabela 7 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à terraplanagem.

E (KG/H)	E (G/S)	E (G/S M ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
0,3240	0,0900	8,2635E-09	2,0365E-08	1,3443E-07

Tabela 8 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à movimentação (carregamento).

E (KG/H)	E (G/S)	E (G/S M ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
0,0045	0,0012	1,1388E-10	2,8065E-10	1,8525E-09

Tabela 9 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à movimentação (basculamento).

E (KG/H)	E (G/s)	E (G/s m ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
7,2435	2,0121	1,8473E-07	4,5525E-07	3,0050E-06

Tabela 10 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à britagem.

E (KG/H)	E (G/s)	E (G/s m ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
0,3875	0,1076	9,8815E-09	2,4352E-08	1,6075E-07

Tabela 11 – Taxas de emissão de MP₁₀ referentes à áreas expostas (pilhas).

E (KG/H)	E (G/s)	E (G/s m ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
2,9189	0,8108	7,4438E-08	1,8345E-07	1,2109E-06

Tabela 12 - Taxas de emissão de MP₁₀ referentes às vias não pavimentadas.

E (KG/H)	E (G/s)	E (G/s m ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
0,2689	0,0747	6,8564E-09	1,6897E-08	1,1154E-07

Para estimar as emissões dos poluentes MP₁₀ devido às atividades e operações de máquinas industriais, incluindo caminhões fora de estrada, são utilizados as equações e os fatores de emissão do documento National Pollutant Inventory (NPI) - Emission Estimation Technique Manual for Combustion Engines (NPI, 2002, 2008). A Mina CRM utiliza escavadeiras, draglines, tratores, motoniveladores, carregadeira e caminhões fora de estrada, que emitem poluentes em suas operações.

A emissão dos poluentes de cada máquina industrial é dada pela seguinte equação:

$$E_i = FC \times EF_i \times \left(\frac{1}{365 \times 24h} \right) \quad (2)$$

onde E é a taxa de emissão (kg/h), FC é o consumo anual de combustível (l/ano), EF é o fator de emissão (kg/l) e i é o tipo de poluente. O último fator entre parênteses na Equação (2) permite a mudança de unidade de ano para horas.

A Tabela 13 mostra as taxas de emissão de máquinas industriais estimadas com a Equação (2) para produção máxima de 5 milhões de toneladas por ano. As taxas de emissão são calculadas para as três áreas de produção da Mina CRM (Áreas Mina 1, 2 e 3).

Tabela 13 – Taxas de emissões de MP10 para máquinas industriais (incluindo caminhões fora de estrada) em função do dimensionamento da frota para produção de 5 milhões de toneladas por ano.

PERÍODO (ANOS)	E (G/s)	E (G/S M ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 M ²	10892324 M ²	10892324 M ²
2024 – 2028	0,04734	4,3462E-09	1,0711E-08	7,0702E-08
2029 – 2033	0,04734	4,3462E-09	1,0711E-08	7,0702E-08
2034 – 2038	0,05195	4,7694E-09	1,1754E-08	7,7587E-08
2039 – 2043	0,05195	4,7694E-09	1,1754E-08	7,7587E-08
2044 – 2048	0,05195	4,7694E-09	1,1754E-08	7,7587E-08
2049 – 2053	0,05195	4,7694E-09	1,1754E-08	7,7587E-08

Para estimar as emissões de MP₁₀ devido às atividades e operações de máquinas estacionárias a diesel, são utilizados as equações e os fatores de emissão dos seguintes documentos: 1) AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources, Sec. 3.3 Gasoline and Diesel Industrial Engines (EPA, 1996) e 2) National Pollutant Inventory (NPI) - Emission Estimate Technique Manual for Combustion Engines (NPI, 2002, 2008). A Mina CRM utiliza perfuratrizes, que emitem poluentes em suas operações.

A emissão dos poluentes de cada máquina estacionária é dada pela seguinte equação geral, baseada no consumo de combustível:

$$E_i = FC \times EF_i \times \left(\frac{1}{365 \times 24h} \right) \quad (3)$$

onde E é a taxa de emissão (kg/h), FC é o consumo anual de combustível (m³/ano), EF é o fator de emissão (kg/m³) e i é o tipo de poluente. O último fator entre parênteses na Equação (3) permite a mudança de unidade de anos para horas.

A Tabela 14 apresenta as taxas de emissão de máquinas estacionárias estimadas com a Equação (3) para produção máxima de 5 milhões de toneladas por ano. As taxas de emissão são calculadas para as três áreas de produção da Mina CRM (Áreas Mina 1, 2 e 3).

Tabela 14 – Taxas de emissões de MP10 para máquinas estacionárias em função do dimensionamento da frota para produção de 5 milhões de toneladas por ano.

PERÍODO (ANOS)	E (g/s)	E (g/s m ²)		
		ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1	ÁREA MINA 1
		10892324 m ²	10892324 m ²	10892324 m ²
2024 – 2028	0,03411	3,1316E-09	7,7176E-09	5,0943E-08
2029 – 2033	0,03411	3,1316E-09	7,7176E-09	5,0943E-08
2034 – 2038	0,03411	3,1316E-09	7,7176E-09	5,0943E-08
2039 – 2043	0,03411	3,1316E-09	7,7176E-09	5,0943E-08
2044 – 2048	0,03411	3,1316E-09	7,7176E-09	5,0943E-08
2049 – 2053	0,03411	3,1316E-09	7,7176E-09	5,0943E-08

4.2. ESTIMATIVA DE EMISSÕES – MINA SSM

As Tabelas 15 apresenta as taxas de emissão de MP₁₀ relacionadas às atividades de produção na Mina SSM. As emissões ocorrem em áreas específicas e, assim, as taxas de emissão totais em g/s são divididas pelas áreas onde ocorrem, gerando as taxas de emissão em g/s m². As taxas de emissão totais mostradas na última linha da Tabela 15 são informadas diretamente ao modelo de dispersão CALPUFF.

Tabela 15 – Distribuição das taxas de emissão totais de MP10 nas fontes de emissão.

PROCESSO		ÁREA NORTE	ÁREA CENTRAL NORTE	ÁREA CENTRAL SUL	ÁREA SUL	ÁREA PILHA 01	ÁREA PILHA 02	ÁREA PILHA 03	ÁREA PILHA 04	ÁREA PILHA 05	ÁREA BENEFICIADA.	LINHA ESTEIRA 01	LINHA ESTEIRA 02	LINHA ESTEIRA 03
	ÁREA (M²)	669902,8	633173,3	646849,1	671854,1	4978	2588,5	2089	810	435,5	108386	1721	1923	1870
	EMIÇÃO (G/S)	EMIÇÃO (G/S M²)												
PERFURAÇÃO DE CARVÃO	0,08681	1,30E-07	1,37E-07	1,34E-07	1,29E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERFURAÇÃO DE ESTÉRIL	0,52083	7,77E-07	8,23E-07	8,05E-07	7,75E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DETONAÇÃO DE CARVÃO E ESTÉRIL	0,00666	9,94E-09	1,05E-08	1,03E-08	9,91E-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESCAVAÇÃO E MAN. (CARVÃO)	0,42774	6,39E-07	6,76E-07	6,61E-07	6,37E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESCAVAÇÃO E MAN. (ESTÉRIL)	0,04582	6,84E-08	7,24E-08	7,08E-08	6,82E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERRAPLENAGEM	7,19E-05	1,07E-10	1,14E-10	1,11E-10	1,07E-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOVIMENTAÇÃO (CARREGAMENTO)	0,00321	4,79E-09	5,07E-09	4,96E-09	4,78E-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOVIMENTAÇÃO (BASCULAMENTO)	0,63585	9,49E-07	1,00E-06	9,83E-07	9,46E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BRITAGEM DE CARVÃO	0,16667	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,54E-06	-	-	-
TRANSFERÊNCIAS (ESTEIRA)	2,65E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,44E-07	1,54E-05	1,38E-05	1,42E-05
EROSÃO EÓLICA (PILHA 01)	2,80E-04	-	-	-	-	5,63E-08	-	-	-	-	-	-	-	-
EROSÃO EÓLICA (PILHA 02)	1,75E-04	-	-	-	-	-	6,76E-08	-	-	-	-	-	-	-
EROSÃO EÓLICA (PILHA 03)	1,69E-04	-	-	-	-	-	-	8,04E-08	-	-	-	-	-	-
EROSÃO EÓLICA (PILHA 04)	5,53E-05	-	-	-	-	-	-	-	6,80E-08	-	-	-	-	-
EROSÃO EÓLICA (PILHA 05)	2,70E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	6,15E-08	-	-	-	-
TOTAL	1,9209	2,58E-06	2,73E-06	2,67E-06	2,57E-06	5,63E-08	6,76E-08	8,04E-08	6,80E-08	6,15E-08	1,54E-06	1,54E-06	1,38E-06	1,42E-06

A estimativa das emissões veiculares é realizada com base nos documentos do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos (PROCONVE) (PROCONVE, 2013) e do 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (MMA, 2013). A metodologia utilizada para realizar a estimativa de emissões veiculares é a bottom-up, na qual as emissões totais da região inventariada são quantificadas a partir do somatório das emissões típicas de cada tipo de veículo.

A taxas de emissão de MP₁₀ são calculadas multiplicando-se o número de veículos pela distância percorrida nos trechos considerados e, também, pelo fator de emissão específico da frota (INEA, 2016):

$$E = N \times d \times EF \quad (4)$$

onde E é a emissão por período definido (g/tempo), N número de veículos, d é a distância percorrida no período (km/período) e EF é o fator de emissão (g/km).

A estimativa de emissões de MP₁₀ é realizada considerando as circulações dos veículos nas áreas internas (Mina e Beneficiamento). Os veículos considerados são caminhões 8x4 (veículos de porte pesado), caminhões pipa (veículos de porte médio), caminhões caçamba (veículos de porte médio) e Unidade Móvel de Bombeamento (veículos de porte médio).

A Equação (4) depende da intensidade de uso dos veículos, que no caso é dada pela distância percorrida nas vias do empreendimento em determinado período. De acordo com informações do empreendedor, veículos utilizados em atividades nas minas trafegam 31.766 quilômetros a cada ano.

Os fatores de emissão, aplicados na Equação (4), são obtidos a partir do 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários de 2013 (MMA, 2013). De acordo com os dados da Associação Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças), a idade média da frota de caminhões é de 12 a 14 anos. Com base na idade médias da frota, os caminhões classificam-se na fase P7 do PROCONVE (ver Tabela 16).

A Tabela 17 apresenta os fatores de emissão e as taxas de emissão de MP₁₀ geradas pela Equação (4) e, também, os valores dos demais parâmetros necessários para

os cálculos. A Tabela 17 mostra as taxas de emissões de MP_{10} dos veículos que trafegam nas áreas das minas, sendo, portanto, apresentadas em $g/s\ m^2$.

Tabela 16 – Fases do PROCONVE versus ano de fabricação (Ciclo Diesel). Fonte: PROCONVE (2013).

FASES PROCONVE	ANO DE FABRICAÇÃO DOS VEÍCULOS
P1	1989-1993
P2	1994-1995
P3	1996-1999
P4	2000-2005
P5	2006-2011
P7	2012 em diante

Tabela 17 – Fatores de emissão e taxas de emissões de MP₁₀ dos veículos que traferam nas áreas das minas.

VEÍCULO	N ¹	D ² (KM/ANO)	EF _{P7(2012)} ³ (G/KM)	E ⁴ (G/ANO)	E ⁴ (G/s)	E ⁵ (G/s m ²)			
						ÁREA NORTE	ÁREA CENTRAL NORTE	ÁREA CENTRAL SUL	ÁREA SUL
						669902,8 M ²	633173,3 M ²	646849,1 M ²	671854,1 M ²
CAMINHÃO 8x4	24	31766	0,014	10673,376	3,385E-04	5,05E-10	5,35E-10	5,23E-10	5,04E-10
CAMINHÃO PIPA	2	31766	0,016	1016,512	3,223E-05	4,81E-11	5,09E-11	4,98E-11	4,80E-11
UMB	1	31766	0,016	508,256	1,612E-05	2,41E-11	2,55E-11	2,49E-11	2,40E-11
					TOTAL	5,77E-10	6,11E-10	5,98E-10	5,76E-10

¹ N - número de veículos circulantes por período (1/tempo)

² d - distância percorrida (km)

³ EF - fator de emissão (g/km)

⁴ E - emissão por período definido (g/ano e g/s)

⁵ E - emissão por período definido e por área (g/s m²)

Para estimar as emissões de MP₁₀ devido às atividades e operações de máquinas estacionárias a diesel, são utilizadas as equações e os fatores de emissão dos seguintes documentos: 1) AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources, Sec. 3.3 Gasoline and Diesel Industrial Engines (EPA, 1996) e 2) National Pollutant Inventory (NPI) - Emission Estimate Thecnique Manual for Combustion Engines (NPI, 2002, 2008).

O empreendimento é equipado com perfuratrizes e geradores, que serão utilizados nas atividades nas áreas da mina e do beneficiamento. Na área da mina, são utilizados uma perfuratriz de 210 cv de potência (consumo de 31,5 litros/hora de diesel) e dois geradores com 87,2 cv de potência (consumo de 13 litros/hora de diesel). Na área do beneficiamento, será utilizado um gerador de 180 cv de potência (consumo de 27 litros/hora de diesel).

A emissão dos poluentes de cada máquina estacionária é dada pela seguinte equação geral, baseada no consumo de combustível:

$$E = FC \times EF \times \left(\frac{1}{365 \times 24h} \right) \quad (5)$$

onde E é a taxa de emissão (kg/h), FC é o consumo anual de combustível (m³/ano) e EF é o fator de emissão (kg/m³). O último fator entre parênteses na Equação (5) permite a mudança de unidade de anos para horas.

As Tabelas 18 e 19 apresentam os fatores de emissão para máquinas estacionárias de até 600 HP (450 kW), as taxas de emissão geradas pela Equação (5) e, também, os valores dos demais parâmetros necessários para os cálculos. A Tabela 18 mostra as taxas de emissões de PM₁₀ das máquinas estacionárias utilizadas nas áreas das minas enquanto a Tabela 19 mostra as taxas de emissões das máquinas na área do beneficiamento.

As emissões das máquinas ocorrem a partir de fontes área, que coincidem com as áreas onde ocorrem as atividades nas minas e no beneficiamento. Assim, para aplicação no modelo CALPUFF, as taxas de emissão das Tabelas 18 e 19 são divididas pela área onde os poluentes são emitidos.

Tabela 18– Consumo de combustível (diesel), fatores de emissão (NPI, 2002, 2008) e taxas de emissão de MP₁₀ para máquinas estacionárias nas áreas das minas.

MÁQUINA	FC (M³/ANO)	EF (KG/M³)	E (KG/H)	E (G/S)	E (G/S M²)			
					ÁREA NORTE	ÁREA CENTRAL NORTE	ÁREA CENTRAL SUL	ÁREA SUL
					669902,8 M²	633173,3 M²	646849,1 M²	671854,1 M²
PERFURATRIZ	98,28	5,1	0,06694	0,01859	2,78E-08	2,94E-08	2,87E-08	2,77E-08
GERADOR	48,672	5,1	0,03315	0,00921	1,37E-08	1,45E-08	1,42E-08	1,37E-08
				TOTAL	4,15E-08	4,39E-08	4,30E-08	4,14E-08

Tabela 19 – Consumo de combustível (diesel), fatores de emissão (NPI, 2002, 2008) e taxas de emissão de MP₁₀ para máquinas estacionárias na área do beneficiamento.

PARÂMETRO	FC (M³/ANO)	EF (KG/M³)	E (KG/H)	E (G/S)	E (G/S M²)
					ÁREA DE BENEFICIAMENTO
					108386 m²
GERADOR	3,942	5,1	0,00268	7,44E-04	6,86E-09
				Total	6,86E-09

5. CONCLUSÃO

Este anexo apresentou a identificação das fontes e a estimativa de emissões fugitivas geradas pela operação de mineração de carvão para abastecer as Usinas Termelétricas na região de Candiota/RS. A exploração de carvão é realizada na Mina Candiota pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM), que abastece a UTE Candiota III e pela Seival Sul de Mineração Ltda (SSM), que abastece a UTE Pampa Sul.

A extração e o beneficiamento de carvão mineral geram emissões de material particulado inalável (MP_{10}), que ocorrem em diversas fases da operação. A parcela das emissões caracterizadas por emissões fugitivas estiveram relacionadas às atividades de perfuração, detonação, escavação, terraplanagem, ressuspensão de vias não pavimentadas, movimentação de material e tráfego de máquinas e veículos.

O método aplicado para os cálculos das emissões atmosféricas de MP_{10} foi baseado na utilização de fatores de emissão. Os fatores de emissão utilizados estão publicados nos documentos da AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors - U.S. EPA, e da National Pollutant Inventory (NPI) - Austrália.

Os resultados dos cálculos de estimativa podem ser considerados representativos das emissões nas áreas das minas de carvão. Em termos de aplicação, as taxas de emissão calculadas de MP_{10} permitiram alimentar o modelo de dispersão CALPUFF para o estudo de dispersão atmosférica na região de interesse. Destaca-se que para cada uma das áreas de mineração, considerou-se emissões contínuas de MP_{10} durante períodos anuais, de forma que fosse avaliado o cenário mais conservativo.

REFERÊNCIAS

- EPA, 1995. AP-42 Introduction to AP-42, Volume I, Fifth Edition, 10 pp.
- EPA, 2000. Meteorological monitoring guidance for regulatory modelling applications. EPA 454/R-99-005. U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC, p. 1-171.
- EPA, 2004. AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 11: Mineral Products Industry, Sec. 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing.
- EPA, 2006. AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 13: Miscellaneous Sources, Sec. 13.2.2 Anpaved Roads.
- EPA, 2018a. AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 11: Mineral Products Industry, Section 11.9 Western Surface Coal Mining.
- EPA, 2018b. AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 13: Miscellaneous Sources, Section 13.2.5 – Industrial Wind Erosion.
- EPA, 2018c. AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 13: Miscellaneous Sources, Section 13.2.4 – Aggregate Handling And Storage Piles.
- INEA, (2013): RESOLUÇÃO INEA Nº 67 DE 25 DE FEVEREIRO DE 2013. Rio de Janeiro-RJ.
- INEA, (2016): Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Inventário de emissões de fontes veiculares: Região Metropolitana do Rio de Janeiro / Instituto Estadual do Ambiente (RJ), [Autores: Luciana Maria Baptista Ventura; Fellipe de Oliveira Pinto]. – Rio de Janeiro:. 350 p.
- MMA, 2013. 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 2013 - Ano Base 2012. Relatório Final. 114 pp.
- NPI, 2002. Emission Estimation Technique Manual for Combustion Engines – National Pollutant Inventory (NPI), 58 pp.
- NPI, 2008. Emission Estimation Technique Manual for Combustion Engines – National Pollutant Inventory (NPI), 89 pp.
- PROCONVE, 2013. Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos. Ministério do Meio Ambiente.