

ANEXO IV - INVENTÁRIO DE EMISSÕES DAS FONTES DE MINERAÇÃO

Estudo de Dispersão Atmosféricas - Região da UTE Candiota III
Candiota/RS



Dezembro/2025

Índice

	Pág.
1. UTE CANDIOTA III	03
2. PAMPA SUL	05
3. CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	06
4. ÁREAS DE MINERAÇÃO	08
4.1 Mina Candiota	08
4.2 Mina de Seival	09
5. METODOLOGIA DE CÁLCULO – FONTES DE MINERAÇÃO	10
5.1. Estimativa de Emissões de Fontes: Produção	10
5.2. Estimativa de Emissões: Veículos e Máquinas Estacionárias	13

1. UTE CANDIOTA III

A Usina Termelétrica Candiota III pertence à Ambar Energia, e está localizada no município de Candiota – RS.

A história do complexo termelétrico de Candiota inicia em 1950 com as primeiras pesquisas sobre o aproveitamento do carvão mineral para geração de energia elétrica. Em 1961 foi inaugurada a primeira usina desse complexo, Candiota I, que hoje se encontra desativada. Posteriormente foram inauguradas as unidades de Candiota II, fase A em 1974 e fase B em 1986.

Depois surgiu o projeto de ampliação da capacidade de geração a carvão, denominado Candiota III (Fase C). Ele teve origem em projeto concebido pelo governo do estado do Rio Grande do Sul no início da década de 80, fruto de acordo entre os Governos do Brasil e da França. Em 1981 foram adquiridos os primeiros equipamentos, porém em 1985 o projeto foi paralisado pelo governo estadual e somente em janeiro de 2011 a fase C começou a operar.

O carvão utilizado na UTPM é proveniente da mina de Candiota, operada pela Companhia Riograndense de Mineração - CRM. O carvão é transportado da mina até a usina por correia coberta com de 2,6 km de extensão.

O Sistema de Monitoramento das Emissões Atmosféricas do Complexo Candiota está conectado ao banco de dados do IBAMA e é composto de quatro subsistemas independentes, funcionando em paralelo com o monitoramento individual de cada chaminé conforme divisão abaixo:

- Chaminé –UTE Candiota III

Cada subsistema instalado realiza as medições dos parâmetros apresentados a seguir, de forma individual em cada uma das chaminés:

- Dióxido de Enxofre – SO_2 ;
- Óxidos de Nitrogênio – NO_x ;
- Monóxido de Carbono - CO;
- Oxigênio – O_2 ;
- Material Particulado – MP;
- Pressão, Temperatura e Vazão;

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, utiliza para a produção de energia elétrica o carvão mineral pulverizado.

Para o controle de abatimento de emissões, a Fase C dispõe de dois precipitadores eletrostáticos e um dessulfurizador. O sistema de dessulfurização adotado é do tipo semi-seco e emprega a cal virgem como agente dessulfurizante. As vantagens do processo escolhido de dessulfurização, integrado ao sistema de coleta de pó, são sua alta eficiência (redução das emissões de SO_2 superior

a 80% e de abatimento de material particulado, fly ash, acima de 99%), baixo consumo de água e ainda, não são gerados efluentes líquidos.

O controle das emissões de óxidos nitrogênio é realizada nos queimadores que são de baixa emissão de NOx, pois garantem um melhor controle da temperatura de combustão reduzindo a oxidação do N₂ do ar.

2. PAMPA SUL

A UTE Pampa Sul, tem uma potência instalada de 680 MW (2 x 340 MW) 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 respectivos geradores elétricos.

O carvão será fornecido pela Mina de Candiota (de propriedade da CRM), unidade mineradora localizada a aproximadamente 5 km ao sul da UTE Pampa Sul, em seu ponto mais próximo. Também está sendo avaliada a possibilidade de queima de biomassa produzida na região em percentuais de até 5 % ou de até 10 % da capacidade da usina, visto isto ser compatível com a tecnologia de queima em leito fluidizado a ser utilizada nas caldeiras da usina.

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 SOx será realizado através da injeção de calcário diretamente na fornalha (eficiência de 96% de dessulfurização). Quanto à emissão de óxidos de nitrogênio, o controle é feito pelo próprio leito fluidizado, que mantém temperaturas mais baixas (entre 800 e 900° C), reduzindo a formação do NOx térmico. O monitoramento das emissões deve ser realizada por monitoramento contínuo nas chaminés.

3. CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Com base nas informações coletadas com os empreendedores, a

Tabela 1 apresenta um resumo das principais características relevantes para o estudo.

Tabela 1 – Principais características das usinas termelétricas consideradas no estudo

Informações gerais da UTE							Sistemas de abatimento de emissões e monitoramento			
Empresa	Empreendimento	Situação	Potência (MW)	Tecnologia	Localização da fonte	Altura da fonte (m)	NOx	MP	SOx	Sistema de monitoramento dos gases
ÂMBAR ENERGIA	Candiota III	Operando	350	Carvão pulverizado	6.506.533 S; 245.409 E	200	Queimadores tipo <i>Low NOx Burners</i>	Dois Precipitadores Eletrostático, uma antes e um após o dessulfurizador	Dessulfurizador a seco com cal hidratada	Chaminé 4 – Caldeira V – UTE Candiota III (Fase C): SO ₂ ; NO _x ; CO; O ₂ ; MP; Pressão, Temperatura e Vazão;
	Pampa 1	Operando	340	Leito Fluidizado Circulante (CFB)	N 236249; E 6517154;	200	Leito fluidizado mantém menores temperaturas	Filtros manga ou precipitador eletrostático	Injeção de calcário diretamente na fornalha da caldeira	Equipamentos de monitoramento contínuo das emissões atmosféricas
	Pampa 2	Licenciamento	340		N 236249; E 6517069.	200				

4. ÁREAS DE MINERAÇÃO

Além de emissões pontuais, há também emissões fugitivas nas operações de mineração, transporte, armazenamento e manuseio do carvão mineral, relacionadas as áreas de mineração. Tais emissões são consideradas nesse estudo.

O carvão mineral é formado pela decomposição da matéria orgânica durante milhões de anos, sob determinadas condições de temperatura e pressão (ANEEL, 2008). As maiores jazidas de carvão mineral do Brasil estão localizadas na região Sul que é onde se desenvolve a sua exploração. Além das reservas exploradas na região de Candiota/RS, há também reservas de carvão mineral nos estados de Santa Catarina e Paraná.

Na região de estudo a exploração do recurso é realizado na mina Candiota pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM) que abastece atualmente a UTE Candiota III e pela Seival Sul de Mineração Ltda (SSM) que abastece a UTE Pampa Sul.

4.1. Mina Candiota

A lavra de carvão na mina Candiota é à céu aberto e seu avanço da lavra se dá na direção oeste - sudoeste de mergulho das camadas de carvão.

Atualmente na Mina de Candiota da CRM são mineradas 4 (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 excedente, também acondicionado 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). Segundo o atual arranjo operacional para suprimento de carvão da CRM para o complexo termelétrico Candiota III, o carvão, depois de cominuído, segue até o pátio de carvão coberto da usina, com uma capacidade atual de acondicionamento de 140.000 toneladas, mediante dois transportadores de correias (TC-01 e TC-02), cuja capacidade nominal de transporte é 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, opcionalmente, direcionado para os silos internos da usina.

4.2. Mina de Seival

A lavra de carvão na mina do Seival também é à 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. Ele 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 carregamento do carvão para a área de beneficiamento é realizado em caminhões 8x4 de 45 toneladas de capacidade e através de esteiras transportadoras da área de beneficiamento para a UTE Pampa Sul.

5. METODOLOGIA DE CÁLCULO –FONTES DE MINERAÇÃO

Para o cálculo das emissões atmosféricas das áreas de mineração (Mina CRM e Mina SSM) utilizou-se o fator de emissão (EF), este é um valor representativo que relaciona a quantidade de poluente emitido com uma taxa de atividade associada, sendo expresso como quantidade de poluentes por unidade de massa, volume, distância ou duração da atividade emissora de poluente (ex: g/t, g/km, g/h, etc.) (USEPA, 2018). Dessa maneira, conhecido o fator de emissão, pode-se calcular a taxa de emissão da seguinte forma:

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

onde E é ataxa de emissão, A é a taxa de atividade, EF é o Fator de emissão e ER é a Eficiência de controle [%].

A principal referência de fatores de emissão utilizada no presente inventário é o documento "AP-42 – *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*", publicado pela US EPA. Este documento é reconhecido e aceito por diversos órgãos ambientais no país e no mundo. Neste estudo, será avaliado o poluente material particulado inalável PM₁₀, considerado de maior potencial pela atividade de mineração.

5.1. Estimativa de Emissões de Fontes: Produção

A estimativa de emissões para a atividade de produção é realizada para as áreas de produção nas áreas Mina CRM e Mina SSM, e áreas de beneficiamento. Para cada uma das áreas de mineração, considera-se que toda área é minerada continuamente durante o período de um ano, cenário este mais conservador.

Os processos configurados como relevantes no contexto das emissões atmosféricas das operações de mineração estão apresentados na Tabela 2.

Nas áreas da mina 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.

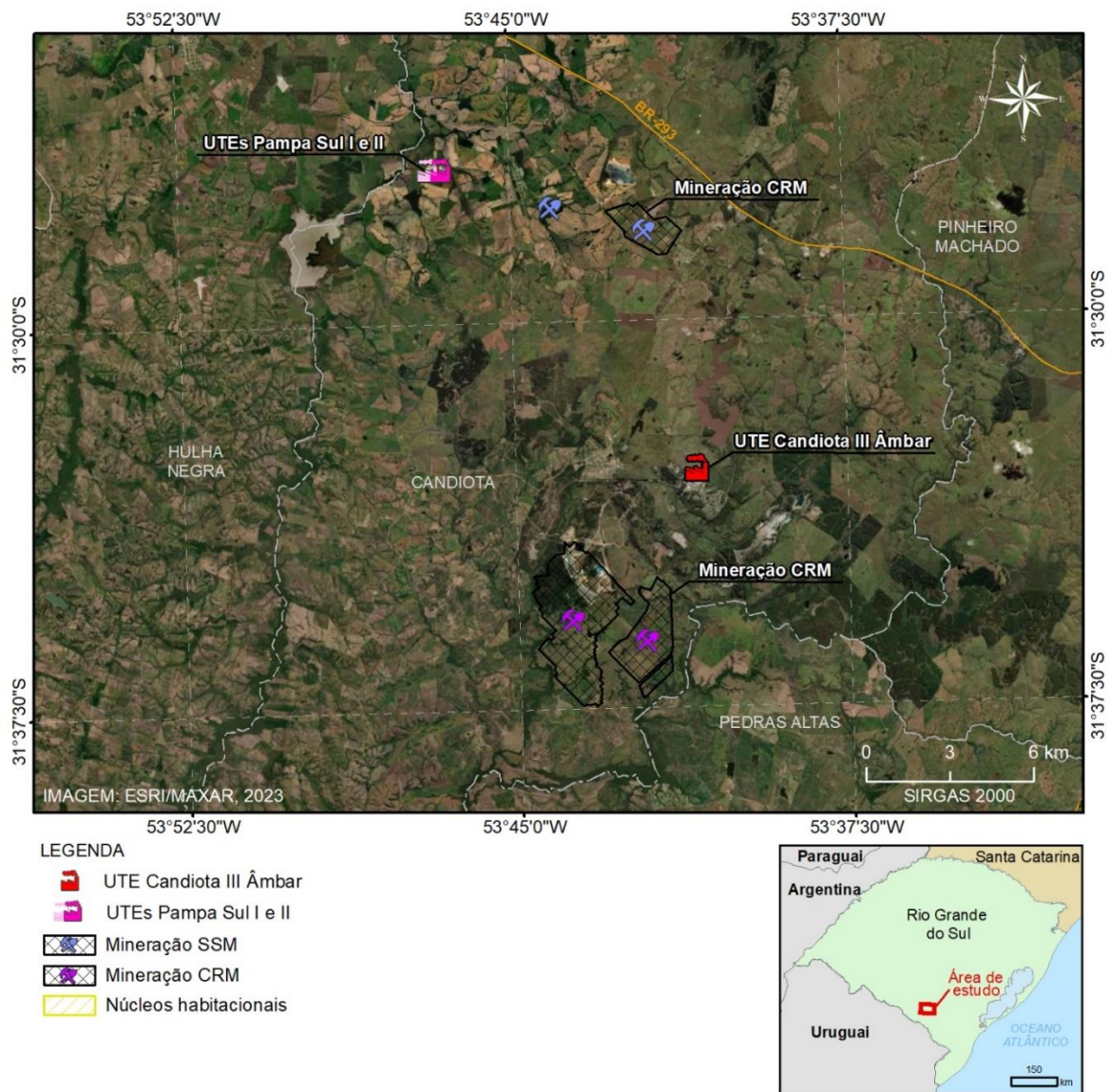


Figura 1 - Localização das áreas operacionais do empreendimento, área de mineração CRM e SSM e área do beneficiamento.

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

Fase	Fontes
Produção	<ul style="list-style-type: none">- Perfuração- Detonação- Escavação e manuseio- Terraplanagem- Movimentação de material- Arraste eólico- Vias não pavimentadas- Máquinas industriais- Máquinas estacionárias- Veículos automotores

Cada um dos processos pode ser definido como:

Perfuração e Detonação: é gerada a partir das explosões para o desmonte do solo ou mineral mais compacto (detonação), que antecede a retirada do carvão. Anteriormente à detonação ocorre o processo de perfuração, no qual o solo é perfurado para a instalação dos explosivos. A operação é feita por máquinas perfuratrizes, as quais realizam os furos, ocasionando a emissão de material particulado.

Escavação e Manuseio: emissões ocorrem devido à movimentação do material retirado (carvão e estéril) por máquinas que carregam caminhões. Essa movimentação de material ocasiona a emissão para a atmosfera de particulado fino existente no carvão e no estéril.

Terraplanagem: o nivelamento do solo por motoniveladoras ocasiona a movimentação de material e a consequente emissão de material particulado para a atmosfera.

Movimentação de Materiais: 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 e em pontos de transferência de circuitos de esteiras transportadoras.

Beneficiamento: O material que é conduzido ao beneficiamento, é levado para britadores e esteiras transportadoras de material e, devido à movimentação, representam importante fonte de partículas finas para a atmosfera.

Vias de tráfego: Quando veículos e máquinas trafegam em vias não pavimentadas ocasionam a ressuspensão de material particulado para a atmosfera devido ao atrito exercido pelas rodas na superfície. A turbulência mecânica provocada pelo deslocamento do veículo desloca um volume de ar e partículas na superfície da via não pavimentada. A quantidade de material particulado emitida em uma via de tráfego é diretamente proporcional à quantidade de veículos que circulam a mesma.

Para a área de mineração estamos considerando aqui o poluente material particulado, por este ser o de maior impacto relacionado a essa fonte de emissão. A Tabela 9 apresenta as equações e os parâmetros necessários para as estimativas de emissões de material particulado inalável (PM₁₀). As referências utilizadas para compor a metodologia utilizada nos cálculos das estimativas de emissão são listadas na última coluna da Tabela 9.

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 PM_{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 em termos de intervalo de emissão gerada 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 (USEPA, 2018). Uma perturbação é definida como uma ação que resulta na exposição de material superficial. 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 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 INMET em Bagé-RS (A827), foram considerados no intervalo de 01 de janeiro de 2020 a 31 de janeiro de 2022.

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 2023. Para a estimativa da taxa de emissão de PM_{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 2023, e chegou à conclusão que ocorreram 127 dias com precipitação igual ou maior do que 0,254 mm.

A Tabela 3 mostra um resumo das taxas de emissão totais de material particulado (PM_{10}) relacionadas a todos os processos da atividade de produção nas áreas das minas e na área do beneficiamento. Inclui, também, as emissões a partir da ressuspensão de material particulado devido ao tráfego nas vias não pavimentadas entre as áreas das minas e a área do beneficiamento. As taxas de emissão totais em g/s são divididas pelas áreas onde os processos ocorrem, gerando as taxas de emissão em g/s m^2 referentes aos processo de produção das áreas da Mina CRM e SSM.

Tabela 3 – Equações e definição dos parâmetros para as estimativas de emissões de material particulado (PM₁₀).

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]	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)

		<p>s = teor de silt no material escavado/manuseado [%]</p> <p>M = teor de umidade do material escavado/manuseado [%]</p> <p>HT = quantidade de horas trabalhadas pelas escavadeiras [horas trabalhadas/ano]</p>	
Terraplenagem	$TE = 0,6 \times 0,0056 \times S^2 \times \frac{DMT}{8760}$	<p>TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h]</p> <p>S = velocidade média de operação da motoniveladora [km/h]</p> <p>DMT = distância média trafegada pelas motoniveladoras [km]</p>	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
Movimentação de Material (carregamento de carvão)	$TE = \frac{0,75 \times 0,0596}{M^{0,9}}$	<p>TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h]</p> <p>M = teor de umidade do material movimentado [%]</p>	Section 11.9 Western Surface Coal Mining (USEPA, 2018)
Movimentação de Material (basculamento de carvão)	$TE = \left[k \times 0,0016 \times \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}} \right] \times Q$	<p>TE = taxa de emissão média do poluente [kg/h]</p> <p>k = multiplicador de tamanho de partícula [adimensional]</p> <p>U = velocidade média do vento [m/s]</p> <p>M = umidade do material [%]</p> <p>Q = taxa de movimentação de materiais [t/h]</p>	Section 13.2.4 – Aggregate Handling And Storage Piles (USEPA, 2018)
Britagem de Carvão	$TE = EF \times Q$	<p>TE = taxa de emissão do poluente i [kg/h];</p> <p>EF = fator de emissão do poluente i [kg/t]</p> <p>= Quantidade do material britado[t/h]</p>	Section 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing (USEPA, 2018)

<p>Transferências de Carvão (esteira)</p>	$TE = \left[k \times 0,0016 \times \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}} \right] \times Q$	<p>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]</p>	<p>Section 13.2.4 – Aggregate Handling And Storage Piles (USEPA, 2018)</p>
<p>Erosão Eólica (pilhas de material)</p>	$TE = EF \times \frac{A}{1000}$ $EF = k \times \sum_{i=1}^N P_i$ $P = 58 \times (u^* - u_t^*) + 25 \times (u^* - u_t^*)^2$ $P = 0, \text{ para } u^* \leq u_t^*$	<p>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 PM₁₀) 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] U₁₀=velocidade do vento em 10 m (série de dados observada na estação meteorológica) u_t*=1,12 m/s (carvão); u_t*=1,02 m/s (estéril) U₁₀=velocidade do vento em 10 m (série de dados observada na estação meteorológica) u_t*=1,12 m/s (carvão); u_t*=1,02 m/s (estéril)</p>	<p>Section 13.2.5 – Industrial Wind Erosion (USEPA, 2018)</p>

Ressuspensão de Partículas em vias não pavimentadas	$TE = \left[281,9 \times k \times \left(\frac{s}{12} \right)^a \times \left(\frac{W}{3} \right)^b \times 10^{-3} \right] \times \left[\frac{(365 - P)}{365} \right] \times DM$	<p>TEi = 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] DMT = distância média trafegada na via [km/h] P = Fator de atenuação devido à precipitação (número de dias por ano com pelo menos 0,254 mm)</p>	Section 13.2.2 – Unpaved Roads (USEPA, 2018)

Tabela 4 – Resumo das taxas de emissão totais de material particulado (PM₁₀).

Processo	Taxa de Emissão	
	Kg/h	g/s
Perfuração de carvão	0,31250	0,08681
Perfuração de estéril	1,87500	0,52083
Detonação de carvão e estéril	1,43891	0,39970
Escavação e manuseio do carvão	1,53986	0,42774
Escavação e manuseio do estéril	0,16496	0,04582
Terraplenagem	2,59E-04	7,19E-05
Movimentação de Material (carregamento de carvão)	0,01155	0,00321
Movimentação de Material (basculamento de carvão)	2,28907	6,36E-01
Britagem de Carvão	0,60000	0,16667
Transferências de Carvão (esteira)	0,09538	2,65E-05
Erosão Eólica (pilhas de material)	0,00635	0,00176
Ressuspensão de Partículas em vias não pavimentadas	6,08611	0,00169

5.2. Estimativa de Emissões: Veículos e Máquinas Estacionárias

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.

As taxas de emissões de material particulado 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):

$$E = \sum N \times d \times EF \quad (2)$$

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 PM₁₀ é realizada considerando as circulações dos veículos nas áreas internas (Mina e Beneficimento) e nas vias que conectam as áreas das minas à área do beneficiamento. Os veículos considerados são caminhões 8x4 (veículos de porte pesado), caminhões pipa (veículos de porte médio) e Unidade Móvel de Bombeamento (veículos de porte médio).

A Equação (2) depende da intensidade de uso do veículos, que no caso é dada pela distância percorrida nas vias do empreendimento em determinado período.

Os fatores de emissão, aplicados na Equação (2), são obtidos a partir do 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários de 2013 (MMA, 2013). Com base nos 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 comerciais leves está entre 9 e 10 anos, de caminhões é de 12 a 14 anos (considerando transportadores autônomos, empresas de transporte e cooperativas) e de ônibus é de 6 anos. Com base na idade médias da frota, os caminhões classificam-se na fase P7 do PROCONVE (ano 2012) (Tabela 5).

Tabela 5 – 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

As Tabelas 6 e 7 apresentam os fatores de emissão e as taxas de emissão geradas pela Equação (2) e, também, os valores dos demais parâmetros necessários para os cálculos. A Tabela 6 mostra as taxas de emissões de PM_{10} dos veículos que traferam nas áreas das minas enquanto a Tabela 7 detalha as taxas de emissões dos veículos que trafegam nas vias que conectam as áreas das minas à área do beneficiamento. As vias por onde circulam os veículos são tratadas como fontes linha, sendo que, para aplicação no modelo AERMOD, as taxas de emissão devem ser divididas pelas áreas das fontes linha. Desta forma, as Tabelas 6 e 7 apresentam as emissões totais em g/s e, também, as emissões distribuídas pelas respectivas áreas em g/s m^2 . A variação no tempo das emissões dos poluentes também é considerada no modelo, conforme a escala de atividade de cada veículo.

Tabela 6 – Fatores de emissão e taxas de emissões de PM_{10} 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)
Caminhão 8x4	24	31766	0,014	10673,376	3,385E-04
Caminhão pipa	2	31766	0,016	1016,512	3,223E-05
UMB	1	31766	0,016	508,256	1,612E-05

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 m^2)

Tabela 7 – Fatores de emissão e taxas de emissões de PM₁₀ dos veículos que trafegam nas vias que conectam as áreas das minas à área do beneficiamento.

Veículo	N	d (km/ano)	EF _{PM7(2012)} (g/km)	E (g/ano)	E (g/s)
Caminhão 8x4	12	42855	0,014	7199,64	2,283E-04
Caminhão pipa	2	50135	0,016	1604,32	5,087E-05

Para estimar as emissões de PM₁₀ 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).

Os empreendimentos de mineração estão equipados com perfuratrizes e geradores, que serão utilizados nas atividades, tanto nas áreas da mina como do beneficiamento.

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

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

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 (3) permite a mudança de unidade de ano para horas.

As Tabelas 8 e 9 apresentam os fatores de emissão para máquinas estacionárias de até 600 HP (450 kW), as taxas de emissão geradas pela Equação (3) e, também, os valores dos demais parâmetros necessários para os cálculos. A Tabela 8 mostra as taxas de emissões de PM₁₀ das máquinas estacionárias utilizadas nas áreas das minas, enquanto que a Tabela 9 mostra as taxas de emissões das máquinas na área do beneficiamento. As emissões das máquinas ocorrem a partir de fontes áreas, que coincidem com as áreas onde ocorrem as atividades na lavra e no beneficiamento. Assim, para aplicação no modelo AERMOD, as taxas de emissão das Tabelas 8 e 9 são divididas pela localização da área onde os poluentes são emitidos.

Tabela 8 – Consumo de combustível (diesel), fatores de emissão (NPI, 2002, 2008) e taxas de emissão de PM₁₀ para máquinas estacionárias nas áreas das minas.

Máquina	FC (m³/ano)	EF (kg/m³)	E (kg/h)	E (g/s)
Perfuratriz	98,28	5,1	0,06694	0,01859
Gerador	48,672	5,1	0,03315	0,00921

Tabela 9 – Consumo de combustível (Diesel), fatores de emissão (NPI, 2002, 2008) e taxas de emissão de PM₁₀ para máquinas estacionárias na área do beneficiamento.

Parâmetro	FC (m³/ano)	EF (kg/m³)	E (kg/h)	E (g/s)
Gerador	3,942	5,1	0,00268	7,44E-04