

**ESTUDO DE DISPERSÃO DE
POLUENTES ATMOSFÉRICOS**
ANGLOGOLD ASHANTI - MINA CUIABÁ

VERSÃO PARA AVALIAÇÃO


ENGGEAR
consultoria



ANGLOGOLD ASHANTI

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: UNIDADES DE OPERAÇÃO DA ANGLOGOLD ASHANTI NO BRASIL	7
FIGURA 2: MINA CUIABÁ DA ANGLOGOLD ASHANTI.....	8
FIGURA 3: ALGUMAS DAS FONTES ESTACIONÁRIAS PRESENTES NA UNIDADE CUIABÁ	14
FIGURA 4: VEÍCULOS AUTOMOTORES OPERANDO NA MINA CUIABÁ	15
FIGURA 5: VIA DE ACESSO DO AO 4º SISTEMA DE EXAUSTÃO E VIA DE ACESSO À CAVA, RESPECTIVAMENTE.....	19
FIGURA 6: BACIA DE SECAGEM DE FILL.....	23
FIGURA 7: EQUIPAMENTOS MÓVEIS.....	27
FIGURA 8: CORREIAS TRANSPORTADORAS E GALPÃO DE BRITAGEM	28
FIGURA 9: QUADRADO 10X10M PARA DETERMINAÇÃO DO ALBEDO E RAZÃO DE BOWEN E CÍRCULO DE RAIO DE 1 KM PARA DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIE DA REGIÃO PRÓXIMA À ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA PAMPULHA	30
FIGURA 10: FREQUÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DO VENTO E ROSA DOS VENTOS	33
FIGURA 11: TOPOGRAFIA DA REGIÃO.....	34
FIGURA 12: VISÃO GERAL DOS RECEPTORES SENSÍVEIS.....	35
FIGURA 13: PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	36
FIGURA 14: PLUMA DE DISPERSÃO DE PTS DIÁRIA	39
FIGURA 15: PLUMA DE DISPERSÃO DE PTS ANUAL	39
FIGURA 16: PLUMA DE DISPERSÃO DE PM10 DIÁRIA.....	41
FIGURA 17: PLUMA DE DISPERSÃO DE PM10 ANUAL	41
FIGURA 18: PLUMA DE DISPERSÃO DE PM2,5 DIÁRIA.....	43
FIGURA 19: PLUMA DE DISPERSÃO DE PM2,5 ANUAL	43
FIGURA 20: PLUMA DE DISPERSÃO DE SOx DIÁRIA.....	45
FIGURA 21: PLUMA DE DISPERSÃO DE SOx ANUAL	45
FIGURA 22: PLUMA DE DISPERSÃO DE NOx HORÁRIO.....	47
FIGURA 23: PLUMA DE DISPERSÃO DE NOx ANUAL	47
FIGURA 24: PLUMA DE DISPERSÃO DE CO PARA 8 HORAS	49
FIGURA A- I: CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA	63
FIGURA A- II: ROSA DOS VENTOS PARA A CIDADE DE BELO HORIZONTE ATRAVÉS DOS DADOS DA ESTAÇÃO DO INMET A521	66
FIGURA A- III: DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DE VELOCIDADE DO VENTO PARA A ESTAÇÃO DO INMET A521	67
FIGURA A- IV: ROSAS-DOS-VENTOS DE BELO HORIZONTE E REGIÕES ADJACENTES	67

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	12
TABELA 2: CARACTERÍSTICAS DAS FONTES ESTACIONÁRIAS E CONDIÇÕES DO FLUXO DE EMISSÃO	13
TABELA 3: TAXA DE EMISSÃO DAS FONTES ESTACIONÁRIAS.....	13
TABELA 4: TIPOS DE VIAS MINA CUIABÁ.....	14
TABELA 5: VIAS DE ACESSO E OS VEÍCULOS	15
TABELA 6: INVENTÁRIO DE EMISSÃO DOS VEÍCULOS AUTOMOTORES	17
TABELA 7: VALORES DAS CONSTANTES PARA CÁLCULO DA EMISSÃO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS	18
TABELA 8: INVENTÁRIO DE EMISSÃO DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS.....	20
TABELA 9: VALORES DAS CONSTANTES PARA CÁLCULO DA EMISSÃO DE PAVIMENTADAS	21
TABELA 11: DEPENDÊNCIA DA CONSTANTE K COM O TAMANHO DAS PARTÍCULAS	23
TABELA 12: EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO DA DESCARGA DE MATERIAL.....	24
TABELA 13: CONSTANTE K PARA FATOR DE EMISSÃO DE ARRASTE EÓLICO.....	24
TABELA 14: INVENTÁRIO E EMISSÃO REFERENTE AO ARRASTE EÓLICO NAS PILHAS E CAVAS.....	26
TABELA 15: INVENTÁRIO DE EMISSÃO DOS EQUIPAMENTOS MÓVEIS	27
TABELA 16: DETERMINAÇÕES DA COBERTURA DO SOLO.....	30
TABELA 17: VALORES DE ALBEDO PARA CADA QUADRANTE E A MÉDIA ARITMÉTICA FINAL	31
TABELA 18: VALORES DE RAZÃO DE BOWEN PARA CADA SETOR E A MÉDIA GEOMÉTRICA FINAL	32
TABELA 19: COEFICIENTE DE RUGOSIDADE PARA CADA QUADRANTE E A MÉDIA GEOMÉTRICA FINAL	32
TABELA 20: RECEPTORES SENSÍVEIS AO ENTORNO DA MINA CUIABÁ	35
TABELA 21: CONCENTRAÇÕES DE PTS DIÁRIAS E ANUAIS	37
TABELA 22: CONCENTRAÇÕES DE PM ₁₀ DIÁRIO E ANUAL	40
TABELA 23: CONCENTRAÇÕES DE PM _{2,5} DIÁRIO E ANUAL	42
TABELA 24: CONCENTRAÇÕES DE SO _x DIÁRIO E ANUAL.....	44
TABELA 25: CONCENTRAÇÕES DE NO _x HORÁRIO E ANUAL	46
TABELA 26: CONCENTRAÇÕES DE MONÓXIDO DE CARBONO PARA 8 HORAS.....	48
TABELA 27: DADOS MODELADOS X DADOS MEDIDOS	50
TABELA A- I: VALORES DEFINIDOS PARA VALIDADE DOS DADOS DOS PARÂMETROS BÁSICOS DO AERMOD	65
TABELA A- II: VALORES DEFINIDOS PARA VALIDADE DOS DADOS DOS DEMAIS PARÂMETROS FORNECIDOS PELO INMET.....	65
TABELA A- III: CONTROLE DE QUALIDADE DOS DADOS METEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO DO INMET A521 E DO AEROPORTO DE PAMPULHA65	
TABELA A- IV: CONTROLE DE QUALIDADE DOS DADOS METEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO DO INMET A521 E DO AEROPORTO DE PAMPULHA66	

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	6
1.1 Dados dos responsáveis técnicos.....	6
1.2 Dados do empreendedor.....	6
2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	7
2.1 Mina Cuiabá	8
3 MODELAGEM DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	10
4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	12
5 INVENTÁRIO DAS FONTES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	13
5.1 Fontes Monitoradas	13
5.2 Fontes Não Monitoradas	14
5.2.1 Veículos Automotores	14
5.2.2 Vias não pavimentadas	18
5.2.3 Vias Pavimentadas	21
5.2.4 Movimentação de Material.....	22
5.2.5 Arraste Eólico	24
5.2.6 Equipamentos Móveis	26
5.2.7 Transporte de Minério via correias e processo de Britagem	28
6 METEOROLOGIA	29
7 MODELAGEM DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	33
7.1 Processamento dos dados meteorológicos (AERMET)	33
7.2 Processamento dos dados topográficos (AERMAP).....	34
7.3 Processamento do modelo de dispersão (AERMOD)	34
7.3.1 Fontes de Emissão	34
7.3.2 Receptores Sensíveis.....	35
8 RESULTADOS DA MODELAGEM DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA.....	37
8.1 Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS)	37
8.2 Concentração de Partículas Inaláveis (PM ₁₀).....	40

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

8.3 Concentração de Partículas Respiráveis (PM _{2,5})	42
8.4 Concentração de Óxido de Enxofre (SO _x).....	44
8.5 Concentração de Óxido de Nitrogênio (NO _x).....	46
8.6 Concentração de Monóxido de Carbono (CO).....	48
8.7 Correlação dos resultados do estudo com dados medidos de monitoramento	49
9 PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.....	51
10 CONCLUSÕES	55
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
APÊNDICE – VALIDAÇÃO METEOROLÓGICA.....	60

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

1 APRESENTAÇÃO

O Estudo de Dispersão de Poluentes Atmosféricos (EDA) é uma avaliação primordial do impacto na qualidade do ar decorrente das operações de empreendimentos industriais. Por isso, a empresa AngloGold Ashanti solicitou à ENGEAR Consultoria a elaboração de um Estudo de Dispersão Atmosféricas (EDA) para a Mina Cuiabá de forma a determinar o impacto atmosférico causado pela emissão dos poluentes provenientes das operações da mina e da lavra, dentre elas exaustão da mina subterrânea, vias não pavimentadas, tráfego de veículos e erosão do vento, dentre outras. Com base em estudos de campo e informações fornecidas pela engenharia da mina, foi possível estimar as emissões decorrentes do processo produtivo de Cuiabá.

A simulação da dispersão da pluma de poluentes foi realizada com o software AERMOD View e seus pré-processadores, recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e órgãos ambientais em todo o Brasil. As concentrações estimadas na modelagem foram comparadas com os limites de concentração estabelecidos pela legislação de qualidade do ar vigente, CONAMA 491/2018.

1.1 Dados dos responsáveis técnicos

Empresa Responsável	ENGEAR Consultoria Ltda
CNPJ	32.998.954/0001-21
Equipe Técnica de elaboração do Estudo	Raísa H. Sant'Ana Cesar – Eng. Química – Resp. Técnica (CREA MG-242749/D) / e-mail: contato@engearconsultoria.com.br
	Tatiane V. Felipe - Eng. Química - Elaboração (CREA MG-169498/D) e-mail: Tatiane@engearconsultoria.com.br
Meteorologista Responsável	Rafael Maia Frenhe - (CREA SP 5069259772) (45) 99156 – 7466 -/ e-mail: rmaia.meteo@gmail.com

1.2 Dados do empreendedor

Empresa	AngloGold Ashanti
Empreendimento	Mina Cuiabá
CNPJ Empreendimento	18 565 382/0001-66
Responsável	Rodrigo Oliveira - Técnico em Meio Ambiente
Endereço	Estrada Mestre Caetano, s/nº, Mina Cuiabá, Sabará, MG

2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A AngloGold Ashanti é referência mundial em produção de ouro, seu principal negócio. Sua sede fica em Joanesburgo, na África do Sul e conta com 18 operações em 9 países, incluindo o Brasil. A empresa busca sempre se aprimorar através de técnicas inovadoras na mineração (ANGLOGOLD ASHANTI, 2016).

As operações da AngloGold Ashanti no Brasil datam de mais de 180 anos, sendo a produção nacional correspondente a 15,34% da produção global da empresa. Em solo brasileiro a empresa possui cinco unidades de mineração de ouro, quatro delas localizadas no estado de Minas Gerais e uma no estado de Goiás, conforme Figura 1. Destaca-se que devido às práticas de trabalho pautadas em sustentabilidade e inovação, a empresa possui o título de indústria com maior longevidade no país, destacando-se como a maior produtora de ouro no Brasil e a terceira do mundo.

Figura 1: Unidades de operação da AngloGold Ashanti no Brasil



Fonte: ANGLOGOLD ASHANTI (2016)

Em Minas Gerais há a Unidade Operacional Cuiabá-Lamego composta pela Mina Cuiabá que possui uma mina subterrânea e uma planta de ouro e a Mina Lamego com uma mina subterrânea, ambas localizada na cidade de Sabará/MG. Estas duas unidades compõe a Unidade de Negócios Cuiabá-Lamego, responsável por 50% da produção nacional da empresa e por empregar mais de 3.300 pessoas, entre diretos e indiretos, dos quais 1,2 mil residem na cidade de Caeté. A Planta Metalúrgica do Queiroz localizada em Nova Lima/MG produz ouro e prata granulada e, por

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

fim, a última unidade operacional no estado é a Mina Córrego do Sítio, localizada em Santa Bárbara/MG e que é composta por duas minas subterrâneas, uma mina a céu aberto (Open Pit) e duas plantas metalúrgicas.

No estado de Goiás a AngloGold Ashanti conta com uma quarta unidade de extração de minério de outro localizada no município de Crixás que inclui três minas subterrâneas (Mina III, Mina Nova e Palmeiras), duas minas a céu aberto e uma planta metalúrgica.

2.1 Mina Cuiabá

A Mina Cuiabá, Figura 2, está localizada no município de Sabará a aproximadamente 16,0 km da capital mineira, Belo Horizonte. Situada na coordenada geográfica UTM 631943 m E e 7802629m S, encontra-se a cerca de 3,8 km do centro do município de Sabará e a 11,0 km do centro da cidade de Caeté. A mina Lamego dista 5,6 km de Cuiabá.

Figura 2: Mina Cuiabá da AngloGold Ashanti



Fonte: Google Earth

Na Mina Cuiabá são realizadas atividades de lavra, britagem e concentração de minério que em seguida é transportado até as instalações da Planta do Queiroz, em Nova Lima, para processamento mineral, via teleférico fechado. As operações relativas à concentração de minério são: britagem, moagem, concentração gravimétrica, flotação e filtragem do concentrado.

A mina possui 14 níveis horizontais de lavra, chegando à elevação superior de 253 metros em relação ao nível do mar. Neles são lavrados aproximadamente 16.64 milhões de toneladas de

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

minério com teor médio de $7.54 \text{ g.t}^{-1} \%$ de ouro. O acesso dos equipamentos ao subsolo é realizado por uma rampa que inicia no Nível 03 e se estende até o Nível 14, interligando os diversos níveis da mina. O transporte de pessoal, material e minério ao subsolo são realizados em um poço vertical de 840 metros de profundidade e 5 metros de diâmetro útil, que serve ainda como uma das entradas de ar para ventilação da Mina. O retorno do ar utilizado nas operações é realizado através de chaminés e galerias dedicadas que conduzem o ar viciado diretamente aos ventiladores de exaustão. Por este motivo, a emissão de poluentes do subsolo não será considerada neste estudo uma vez que será levado em consideração o monitoramento dos exaustores.

De forma a garantir o conforto dos trabalhadores que operam no subsolo, existe aclimatização do ar suprido pelo poço de adução, que introduz ar refrigerado na mina, proveniente da estação de refrigeração próxima ao mesmo.

As operações de lavra se iniciam com a perfuração das rochas feita por Jumbos eletro hidráulicos. Nestes furos são colocados os explosivos em pasta ou emulsão e granulado. Após o desmonte do minério ROM e abatimento dos choccos, carregadeiras rebaixasadas do tipo LHD de 6,3 jardas cúbicas carregam caminhões de 22 toneladas de capacidade. Esses caminhões descarregam o material no “ore pass” principal que, por gravidade, alimenta o silo de estocagem da Estação de Carga localizada junto ao fundo do poço vertical. Na Estação de Carga, os skips são carregados por correias transportadoras e içados através do Poço Vertical, descarregando na superfície, de onde segue para a britagem e beneficiamento para recuperação do ouro através de processos hidro e pirometalúrgico.

3 MODELAGEM DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Os modelos numéricos de dispersão atmosférica permitem estimar as concentrações de poluentes, identificação de áreas críticas e previsão de cenários futuros. Porém, os resultados obtidos por estes programas dependem do detalhamento e precisão dos dados de entrada, como inventário de emissões, dados meteorológicos e topográficos da área de estudo (FEAM, 2015).

Diversos modelos de simulação são utilizados para estimar a concentração de poluentes na atmosfera. A US-EPA (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos) recomenda o AERMOD para simulação do comportamento dos poluentes na atmosfera para distâncias de até 50 km do local de estudo (EPA, 2017a). No Brasil, a FEAM também sugere que os municípios do estado de Minas Gerais utilizem o AERMOD para estimação da poluição veicular (FEAM, 2015), para processos de licenciamento ambiental do estado de empreendimentos gerais (FEAM, 2019a) e para empresas de produção de carvão vegetal (FEAM, 2019b). Por esses motivos, este modelo de dispersão será abordado neste trabalho.

O software AERMOD é desenvolvido pela Sociedade Americana de Meteorologia (MAS) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, o qual é composto por dois pré-processadores (AERMET e AERMAP) e o modelo de dispersão AERMOD. O AERMET utiliza os dados meteorológicos representativos para o domínio simulado e características de superfície (albedo¹, razão de Bowen² e rugosidade de superfície³) para determinação dos parâmetros da camada limite planetária (velocidade de fricção, altura de mistura, dentre outros) e caracterização adequada da capacidade dispersiva da atmosfera (EPA, 2016; EPA, 2018).

O AERMAP caracteriza o terreno e gera a malha receptora para o modelo de dispersão a fim de calcular a influência da altura do terreno associado a cada malha receptora e aos receptores discretos determinados (EPA, 2016). Entende-se por receptores discretos locais que merecem atenção quanto a qualidade do ar, como: escolas, hospitais e sítios de grande contingente populacional.

¹ Albedo refere-se a fração da radiação solar incidente que não foi absorvida e que é refletida pela superfície (EPA, 2018).

² Razão de Bowen é dada pela razão entre o calor sensível e o calor latente (EPA, 2018).

³ A rugosidade de superfície relaciona-se a altura dos obstáculos. Altura no qual a velocidade do vento é zero com base no perfil logarítmico (EPA, 2018)

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

O modelo de pluma do AERMOD segue um estado estacionário (considerando um volume de controle arbitrário em um sistema de coordenadas fixo em relação ao solo, lidando com precisão e eficiência em problemas envolvendo dispersão) e a distribuição da concentração segue uma distribuição gaussiana (normal) tanto na horizontal quanto na vertical (MOREIRA e TIRABASSI, 2004). O algoritmo do modelo é aplicado para alcance de até 50 km de distância da fonte emissora, com características do tipo pontual, de área ou volumétrica, além do lançamento ser do tipo constante ou variável. O AERMOD é aplicado para áreas urbanas e rurais, terrenos complexos e planos bem como lançamentos elevados ou de superfície. Na saída do programa é gerado um resumo de concentrações médias por receptor e por fonte para os períodos considerados na modelagem (EPA, 2016).

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Para contribuir com a melhoria da qualidade do ar, os órgãos ambientais estabelecem padrões de emissões e imissões por fontes poluidoras, colocando o monitoramento da qualidade do ar como uma ferramenta para acompanhar os níveis de poluição e comparar com os padrões máximos estabelecidos de forma que não afete a saúde, segurança e o bem estar da população, bem como danos à fauna e flora. Desta forma, a resolução CONAMA 491/2018 dispõe sobre padrões de qualidade do ar (Tabela 1) previstos no PRONAR (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar) e os divide em duas categorias:

a) Padrões de qualidade do ar intermediários (PI): padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

b) Padrão de qualidade do ar final (PF): valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005.

Tabela 1: Padrões de Qualidade do Ar

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

Fonte: MMA (2018)

¹ Média aritmética anual

² Média horária

³ Máxima média móvel obtida no dia

⁴ Média geométrica anual

⁵ Medido nas partículas totais em suspensão

Para os poluentes monóxido de carbono (CO), partículas totais em suspensão (PTS) e Chumbo (Pb) serão adotados o padrão de qualidade do ar final a partir da publicação da Resolução CONAMA nº 491/2018. Os demais poluentes seguem o padrão PI-1.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

5 INVENTÁRIO DAS FONTES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Em todo o processo de lavra e beneficiamento do minério existem fontes de emissão de particulados e gases. A emissão de material particulado é decorrente da queima de diesel, processos de britagem, peneiramento, exaustão da mina subterrânea, vias não pavimentadas, erosão do vento e operações de descarregamento e recuperação do material. Já os gases são oriundos da combustão de motores dos equipamentos movidos a diesel e gases dos explosivos utilizados nos desmontes.

Para elaboração do inventário de emissões da AngloGold Mineração Cuiabá utilizou-se como base informações coletadas em visita técnica realizada no dia 10 de Setembro de 2019 e dados de produção. Os dados relativos às fontes monitoradas, como chaminés e exaustores, foram extraídos dos últimos três relatórios de monitoramento atmosférico realizados pelo laboratório AQUA em 2019.

5.1 Fontes Monitoradas

A Mineração Cuiabá possui três exaustores com emissões monitoradas. Os dados relativos ao fluxo de emissão bem como as taxas de emissão foram extraídas de amostragens realizadas pelo laboratório AQUA nos meses de Junho, Julho e Agosto de 2019. Para inserção no modelo de dispersão, considerou-se uma média dos valores medidos nesses três momentos. A Tabela 2 apresenta a listagem das fontes estacionárias, sua localização, características e condições do fluxo de exaustão. A Tabela 3 apresenta as médias das taxas de emissão dos poluentes monitorados nas fontes estacionárias da unidade e a Figura 3 ilustra algumas dessas fontes estacionárias presentes na mina.

Tabela 2: Características das Fontes Estacionárias e condições do fluxo de emissão

Código	Fontes Estacionárias	Coordenadas [UTM]		Altura	Diâmetro Chaminé	Temperatura do gás	Velocidade do gás
		Latitude	Longitude	(m)	(m)	(K)	(m/s)
EX01	4º Sistema de Exaustão	631741	7802573	7	3,1	290,61	27,8
EX02	Sistema de Exaustão Ventilação Nova	632496	7802196	8	3,1	289,08	24,03
EX03	Sistema de Exaustão Ventilação Antiga	631814	7802428	8	3,1	292,97	15,24

Fonte: Relatórios de Amostragem (AQUA 3012/19 – Agosto, Julho e Junho 2019)

Tabela 3: Taxa de Emissão das Fontes Estacionárias

Fontes Estacionárias	Taxa de emissão							
	MP		SO ₂		Nox		NH ₄	
	kg/h	g/s	kg/h	g/s	kg/h	g/s	kg/h	g/s
4º Sistema de Exaustão	10,31	2,86	3,8	1,06	0,3	0,08	3,35	0,93
Sistema de Exaustão Ventilação Nova	8,94	2,48	3,8	1,06	0,3	0,08	3,41	0,95
Sistema de Exaustão Ventilação Antiga	6,44	1,79	3,8	1,06	0,3	0,08	1,5	0,42

Fonte: Memorial de Cálculo do Inventário de Emissão – AngloGold, Mina Cuiabá.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 3: Algumas das Fontes Estacionárias presentes na Unidade Cuiabá



4º Sistema de Exaustão



Exaustão Sistema Antigo



Sistema de Exaustão Novo/Planta de refrigeração

Fonte: Própria

5.2 Fontes Não Monitoradas

5.2.1 Veículos Automotores

A mineração conta com uma frota de veículos automotores composta por caminhões para o transporte de material, caminhão pipa e veículos leves, sendo que a circulação dos mesmos ocorre em vias pavimentadas e não pavimentadas conforme Tabela 5 e Tabela 5. A Figura 4 ilustra a operação de alguns destes veículos.

Tabela 4: Tipos de vias Mina Cuiabá

Tipo de via	Denominação	
Não Pavimentada	Via de Acesso ao 4º Sistema de exaustão	Estrada A
Não Pavimentada	Via de Acesso à Cava	Estrada B
Não Pavimentada	Via que liga a britagem até cava	Estrada C
Pavimentada	Via de acesso ao Nível 3	Estrada D

Fonte: Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiabá (Anglogold Ashanti)

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Tabela 5: Vias de acesso e os veículos

Quantidade	Tipo da frota de veículos	Combustível	Ano médio da frota	Via que trafega	Quantidade viagens/dia
1	Báscula - BS-01	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
1	Báscula - BS-02	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
1	Báscula - BS-03	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
1	Báscula - BS-04	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
1	Báscula - BS-06	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
1	Báscula - BS-08	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
1	Báscula - BS-09	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
1	Báscula - S-10	Diesel	2015	Via de Acesso a Cava	23,0
2	Veículos Leves	Gasolina	2015	Via de Acesso a Cava	20,0
1	Caminhão Pipa	Diesel	2015	Todas as vias	24,0
3	Caterpillar	Diesel	2011	Todas as vias	23,3
3	Caterpillar	Diesel	2012	Todas as vias	22,5
4	Caterpillar	Diesel	2013	Todas as vias	25,0
1	Caterpillar	Diesel	2015	Todas as vias	20,0
1	Volvo	Diesel	2017	Todas as vias	30,0
1	Volvo	Diesel	2018	Todas as vias	30,0
3	Volvo	Diesel	2019	Todas as vias	30,0

Fonte: Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiabá (Anglogold Ashanti)

Figura 4: Veículos Automotores operando na Mina Cuiabá



Fonte: Própria

A metodologia adotada para estimativa da emissão atmosférica de veículos automotores é a publicada pela CETESB (2018) e definida pela equação 1:

$$EF = lu * Fe * Fr \quad \text{Equação 1}$$

Onde: EF=taxa de emissão, massa de poluente emitida por tempo (g.s^{-1}); lu= Intensidade de uso ou quilometragem média percorrida pelo veículo (km.dia^{-1}); Fe= Fator de Emissão (g.km^{-1}) e Fr= número de veículos circulantes.

O fator de emissão, definido em laboratório e publicado pela CETESB (2018), é dependente do tipo de veículo, ano da frota, poluente emitido e combustível utilizado. Salienta-se

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

que este fator se refere à emissão exaustiva decorrente do tráfego de veículos automotores em uma dada distância. A Tabela 6 apresenta as estimativas de emissão dos veículos automotores que trafegam nas vias da Mineração. Como a norma não prevê fator de emissão para os poluentes $PM_{2,5}$ e PM_{10} , será considerada a mesma taxa de emissão de PTS para estes dois poluentes de forma a manter um resultado conservativo. Foi considerada operação de segunda a sábado.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Tabela 6: Inventário de Emissão dos veículos automotores

INFORMAÇÕES PRELIMINARES		ESTRADA A		ESTRADA B				ESTRADA C			ESTRADA D	
Dimensões [metros]	Largura	8		8				8			8	
	Extensão	760		2005				1709			2431	
Tipo de veículos		Caterpillar	Volvo	Bascula	Caterpillar	Volvo	Veículos Leves	Caterpillar	Volvo	Pipa	Caterpillar	Volvo
Quantidade de veículos que trafegam		11,00	5,00	8,00	11,00	5,00	3,00	11,00	5,00	1,00	11,00	5,00
Dimensões [metros]	Altura	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	1,79	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
	Largura	2,33	2,33	2,33	som	2,33	1,75	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33
	Extensão	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30	5,20	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30
Quantidade viagens/dia por caminhão [ida e volta]		22,71	30,00	23,00	22,71	30,00	20,00	22,71	30,00	24,00	22,71	30,00
Peso médio veículo vazio [tonelada]		11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	5,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Massa de material transportado por viagem [tonelada]		32,38	28,00	20,00	32,38	28,00	0,00	32,38	28,00	8,00	32,38	28,00
Peso médio veículo cheio [tonelada]		43,38	39,00	31,00	43,38	39,00	5,00	43,38	39,00	19,00	43,38	39,00
Peso médio total [tonelada]		27,19	25,00	21,00	27,19	25,00	5,00	27,19	25,00	15,00	27,19	25,00
Quilometragem média percorrida [km/dia]		17,26	22,80	46,12	45,53	60,15	40,10	38,81	51,27	41,02	55,20	72,93
Quilometragem percorrida por veículo	[km/dia]	379,67	228,00	737,84	1.001,63	601,50	240,60	853,76	512,70	82,03	1.214,44	729,30
	[km/h]	15,82	9,50	30,74	41,73	25,06	10,03	35,57	21,36	3,42	50,60	30,39
		FATOR DE EMISSÃO										
		ESTRADA A		ESTRADA B				ESTRADA C			ESTRADA D	
Intensidade de uso ou quilometragem média percorrida pelo veículo [lu]	[km/ano]	99093,71	59508,00	192576,24	261424,86	156991,50	62796,60	222830,47	133814,70	21410,35	316969,50	190347,30
Fator de emissão [Fe]	PTS [g/km]	0,014	0,013	0,015	0,014	0,013	0,0011	0,014	0,013	0,015	0,014	0,013
	NOx [g/km]	1,525	1,519	1,48	1,525	1,519	0,01	1,525	1,519	1,48	1,525	1,519
	CO [g/km]	0,128	0,073	0,102	0,128	0,073	0,197	0,128	0,073	0,102	0,128	0,073
Taxa de emissão [E] - TOTAL	PTS [g/s]	4,40E-05	2,87E-03	9,16E-05	1,16E-04	6,47E-05	2,19E-06	9,89E-05	5,52E-05	1,02E-05	1,41E-04	7,85E-05
	NOx [g/s]	4,79E-03	1,38E-04	9,04E-03	1,26E-02	7,56E-03	1,99E-05	1,08E-02	6,45E-03	1,00E-03	1,53E-02	9,17E-03
	CO [g/s]	4,02E-04	1,38E-04	6,23E-04	1,06E-03	3,63E-04	3,92E-04	9,04E-04	3,10E-04	6,92E-05	1,29E-03	4,41E-04

Fonte: Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiabá (Anglogold Ashanti)

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

5.2.2 Vias não pavimentadas

A metodologia adotada para estimativa da emissão atmosférica de vias não pavimentadas é determinada pela AP 42, volume 1, subitem 13.2.2 (EPA, 2006a), de acordo com a equação 2.

$$EF = k \left(\frac{S}{12} \right)^a \left(\frac{W}{3} \right)^b \quad \text{Equação 2}$$

Onde: EF = fator de emissão (lb.VMT⁻¹); S = porcentagem de silte contidos na superfície (%); W = peso médio dos veículos (t) e “k”, “a” e “b” são constantes empíricas e baseadas nos tamanhos aerodinâmicos das partículas, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Valores das constantes para cálculo da emissão de vias não pavimentadas

CONSTANTE	PM _{2,5}	PM ₁₀	PMP ₃₀ ^(a)
k (lb/VMT)	0,15	1,50	4,90
a	0,90	0,90	0,70
b	0,45	0,45	0,45

Fonte: EPA, 2006a

(a) Supondo equivalente ao total de partículas em suspensão (PTS)

As estradas estão sujeitas a medidas de mitigações naturais provocadas pela chuva, fato que implica numa emissão inversamente proporcional ao número de dias com precipitação superior a 0,254 mm. Por isso, a equação de determinação da emissão de poluentes (EPA, 1995) deve ser acrescida do fator de precipitação pluviométrico conforme equação 3.

$$E = A * EF * \left(1 - \frac{ER}{100} \right) * FPP \quad \text{Equação 3}$$

Onde: E=taxa de emissão (g.s⁻¹); A = atividade: distância percorrida pelos veículos por tempo (km.h⁻¹); EF=fator de emissão (kg.km⁻¹); ER= eficiência global de redução de emissões (%); FPP (fator de precipitação pluviométrica)=(365-P)/365 e P=número de dias no ano com precipitação superior a 0,254 mm;

A Tabela 8 apresenta as estimativas de emissão das vias da mineração, sendo que para sua determinação foram consideradas as seguintes premissas:

- Devido à ausência de dados reais de silte do empreendimento, foi considerada a porcentagem média de silte disponível na AP 42, volume 1, subitem 13.2.2 para Pedreira e processamento de pedra, 10,0%;

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

- O peso dos veículos por estrada foi obtido considerando a média mássica da frota vazia e carregada;
- O número de dias no ano com precipitação superior a 0,254 mm foi obtido dos dados meteorológicos utilizados neste estudo (P=226 dias). Ressalta-se que foram utilizados dados referentes à três anos (2016 a 2018), ou seja, total de 1095 dias. Logo, FPP=0,794;
- A medida de mitigação adotada pelo empreendimento para minimizar a emissão de particulado nas vias sem pavimentação é a aspersão contínua de água através de caminhão pipa. De acordo com (WRAP, 2006), a aspersão horária de água em vias não pavimentadas reduz a emissão de poeira em 55% (ER=55%).

Figura 5: Via de acesso do ao 4º Sistema de Exaustão e via de Acesso à Cava, respectivamente



Fonte: Própria

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Tabela 8: Inventário de Emissão das vias não pavimentadas

Denominação		ESTRADA A			ESTRADA B				‘ESTRADA C		
Dimensões [metros]	Largura	8			8				8		
	Extensão	760			2005				1709		
Tipo de veículos		Caterpillar	Volvo		Bascula	Caterpillar	Volvo	Veículos Leves	Caterpillar	Volvo	Pipa
Qtd veículos que trafegam		11,00	5,00		8,00	11,00	5,00	3,00	11,00	5,00	1,00
Quantidade viagens/tempo [ida e volta]		22,71	30,00		23,00	22,71	30,00	20,00	22,71	30,00	24,00
Peso médio veículo vazio [tonelada]		11,00	11,00		11,00	11,00	11,00	5,00	11,00	11,00	11,00
Massa de material transportado por viagem [tonelada]		32,38	28,00		20,00	32,38	28,00	0,00	32,38	28,00	8,00
Peso médio veículo cheio [tonelada]		43,38	39,00		31,00	43,38	39,00	5,00	43,38	39,00	19,00
Peso médio veículo [tonelada]		27,19	25,00		21,00	27,19	25,00	5,00	27,19	25,00	15,00
Quilometragem média percorrida por veículo	[km/dia]	379,67	228,00		7.37,84	1.001,63	601,50	240,60	853,76	512,70	82,03
	[km/h]	15,82	9,50		30,74	41,73	25,06	10,03	35,57	21,36	3,42
EQUAÇÃO FATOR DE EMISSÃO		Estrada A			Estrada B				Estrada C		
Parâmetros		PM2,5	PM10	PTS	PM2,5	PM10	PTS		PM2,5	PM11	PTS
Constante "k"	lb/VMT	0,15	1,5	4,9	0,15	1,5	4,9		0,15	1,5	4,9
Constante "a"	Adimensional	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7		0,9	0,9	0,7
Constante "b"	Adimensional	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45		0,45	0,45	0,45
Porcentagem de Silte (S)	%	10%			10%				10%		
Peso médio veículos (W)	Toneladas	26			20				22		
Fator de emissão (EF)	lb/VMT	0,01	0,05	0,45	0,00	0,05	0,40		0,00	0,05	0,42
	g/km	1,51	15,05	128,12	1,32	13,22	112,50		1,41	14,05	119,60
EF	fator de emissão (g/km)	1,505	15,054	128,115	1,322	13,219	112,498		1,405	14,054	119,601
Taxa de emissão (E)	g/s	0,004	0,038	0,322	0,014	0,141	1,200		0,008	0,084	0,716

Fonte: Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiabá (Anglogold Ashanti)

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

5.2.3 Vias Pavimentadas

As emissões de partículas ocorrem sempre que os veículos viajam sobre uma superfície pavimentada, seja na forma de emissão direta na forma de exaustão ou em desgaste dos freios, pneus e ressuspensão de material solto na superfície da estrada. Sabendo que a emissão exaustiva é determinada no item 5.2.1, para ressuspensão do material oriundo da via pavimentada para acesso ao nível 3 foi utilizada a referência a AP 42, volume 1, subitem 13.2.1 (EPA, 2011), de acordo com a equação 4.

$$E = k * sL^{0,91} * W^{1,02} * \left(1 - \frac{P}{4N}\right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde: E=fator de emissão (g.km^{-1}); k=multiplicador de partícula (g.km^{-1}) conforme Tabela 9; sL=carga de silte na superfície da estrada; W=peso médio dos veículos que percorrem a estrada; P= número de dias no ano com precipitação superior a 0,254 mm; N= número de dias considerado na simulação.

Tabela 9: Valores das constantes para cálculo da emissão de pavimentadas

CONSTANTE	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₃₀ ^(a)
k (g/km)	0,15	0,62	3,23

Fonte: EPA, 2011

(a) Supondo equivalente ao total de partículas em suspensão (PTS)

Determinado o fator de emissão, obteve-se a emissão de poluentes conforme metodologia apresentada pela EPA (1995), equação 5.

$$E = A * EF * \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad \text{Equação 5}$$

Onde: E=taxa de emissão (g.s^{-1}); A = atividade: quilometragem percorrida pelos veículos por hora (g.h^{-1}); EF=fator de emissão (g.km^{-1}); ER= eficiência global de redução de emissões (%).

A Tabela 10 apresenta as estimativas de emissão das vias da mineração, sendo que para sua determinação foram consideradas as seguintes premissas:

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Tabela 10: Estimativa da taxa de emissão da via pavimentada

ESTRADA D				
Trajeto da via		Via de acesso ao Nível 3		
Dimensões [metros]	Largura	8		
	Extensão	760		
Tipo de veículos		Caterpillar	Volvo	
Qtd veículos que trafegam		11,00	5,00	
Quantidade viagens/tempo [ida e volta]		22,71	30,00	
Peso médio veículo vazio [tonelada]		11,00	11,00	
Massa de material transportado por viagem [tonelada]		32,38	28,00	
Peso médio veículo cheio [tonelada]		43,38	39,00	
Peso médio veículo [tonelada]		27,19	25,00	
Quilometragem média percorrida por veículo	[km/dia]	379,67	228,00	
	[km/h]	11,31	6,79	
Quilometragem total percorrida	[km/h]	18,11		
Parâmetros		PM _{2,5}	PM ₁₀	PTS
Porcentagem de Silte (sL)	g/m²	9,7		
Peso médio veículos (W)	Toneladas	26,09		
Constante "k"	g/km	0,15	0,62	3,23
Número de dias com precipitação superior a 0,254 mm (P)	dias	226		
Número total dedias no período (N)	dias	1095		
Taxa de emissão (E)	g/km	31,33	129,48	674,57
Fator de emissão (E)	g/s	0,16	0,65	3,39

Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiaba (Anglogold Ashanti)

5.2.4 Movimentação de Material

Durante os processos de carregamento e descarregamento de material na Capa Open Pitt e Bacia de Secagem de Fill na Mineração Cuiabá da AngloGold Ashanti ocorre suspensão de material particulado no ambiente. Na Figura 6 pode ser observada a nuvem de material particulado formado após a movimentação provocada pelo caminhão. Sendo assim, a metodologia adotada para estimativa da emissão atmosférica decorrente da carga e descarga de material é a AP 42, volume 1, subitem 13.2.4 (EPA, 2006b), de acordo com a equação 6.

$$EF = k(0,0016) \left(\frac{U}{2,2} \right)^{1,3} \left(\frac{M}{2} \right)^{1,4} \quad \text{Equação 6}$$

Onde: EF=fator de emissão (kg de partículas gerada.Mg de material movimentado⁻¹); U= velocidade média do vento (m.s⁻¹) ; M=teor de umidade do material (%) e k=constante dependente do tamanho da partícula (adimensional) conforme Tabela 11.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Tabela 11: Dependência da constante k com o tamanho das partículas

< 30 µm	< 15 µm	< 10 µm	< 5 µm	< 2.5 µm
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053 ^a

Fonte: EPA (2006b)

Figura 6: Bacia de Secagem de Fill



Fonte: Própria

Após a determinação do fator de emissão, é definida a emissão conforme metodologia apresentada pela EPA (1995). Entretanto, sabendo que a precipitação pluviométrica se trata de um mecanismo natural de mitigação de poluição, deve-se considerá-la na função de estimativa da taxa de emissão conforme equação 7.

$$E = A * EF * \left(1 - \frac{ER}{100}\right) * FPP \quad \text{Equação 7}$$

Onde: E=taxa de emissão (g.s⁻¹); A = atividade: taxa de movimentação de materiais (ton.mês⁻¹); EF=fator de emissão (kg de part gerada.Mg de material movimentado⁻¹); ER= eficiência global de redução de emissões (%); FPP (fator de precipitação pluviométrica)=(365-P)/365 e P=número de dias no ano com precipitação superior a 0,254 mm;

A Tabela 12 apresenta as estimativas de emissão da movimentação de material, sendo que para sua determinação foram consideradas as seguintes premissas:

- A velocidade média dos ventos utilizados neste estudo é igual a 2,00 m.s⁻¹;
- FPP=0,794 conforme item 4.2;

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

- Foi considerada a Eficiência Global de redução igual a 80% equivalente a faixa média de redução de poeira de 70-90% sugerida por TURNER et al (1987) em casos de aspersão de água em pilhas. Isso se deve ao fato de a Mina Cuiabá propor a aspersão de água constantemente na cava e bacia de secagem.
- Apesar da existência de um Pátio de Estocagem na Mina Lamego, a mesma não é movimentada.

Tabela 12: Emissão de material particulado da descarga de material

Denominação	Taxa de movimentação (t/hora)	Umidade [M] (%)	Fator de Emissão (E) [kg particulado gerado/Mg movimentado]			Taxa de Emissão (E) [g/s]		
			PM2,5	PM10	PTS	PM2,5	PM10	PTS
Cava Open Pit	0,17	18%	2,18E-03	1,44E-02	3,05E-02	1,63E-05	1,08E-04	2,28E-04
Bacia de Secagem Fill	0,17	21%	1,76E-03	1,16E-02	2,45E-02	1,29E-05	8,53E-05	1,80E-04

Fonte: Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiabá (Anglogold Ashanti)

5.2.5 Arraste Eólico

A ação do vento sobre pilhas e áreas abertas provoca a geração de poeira, dispersando material particulado no ambiente. A estimativa da emissão deste poluente pela ação eólica é realizada pela metodologia apresentada pela AP-42, capítulo 13, subitem 13.2.5, conforme equação 8.

$$EF = k \sum_{i=1}^N P_i$$

Equação 8

Onde: EF = Fator de emissão de material particulado provenientes da ação eólica, dado em $g.m^{-2}.ano^{-1}$; k = constante empírica adimensional relacionada ao tamanho das partículas (Tabela 13); N = Número de distúrbios por ano e P = Potencial de erosão correspondente à velocidade de vento mais elevada (Equações 9 e 10), no período “i” entre os distúrbios, dado em $g.m^{-2}$;

Tabela 13: Constante k para fator de emissão de arraste eólico

Aerodynamic Particle Size Multipliers For Equation 2			
30 μm	<15 μm	<10 μm	<2.5 μm
1.0	0.6	0.5	0.075 ^a

^a Multiplier for < 2.5 μm taken from Reference 11.

Fonte: EPA, 2006c.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

$$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*) \quad \text{Equação 9}$$

$$P = 0 \text{ para } u^* \leq u_t^* \quad \text{Equação 10}$$

Onde u^* = velocidade de fricção (atrito) do vento (m.s^{-1}) com a superfície determinada pela Equação 11 e u_t^* = velocidade de fricção mínima do vento (m.s^{-1}) necessária para a ocorrência de emissão e que depende das características do material e da pilha.

$$u^* = 0,053 u_{10}^+ \quad \text{Equação 11}$$

Onde u_{10}^+ = é definida como a maior velocidade (m.s^{-1}) do vento nos períodos entre os distúrbios obtidos por um anemômetro de 10m de altura.

Definido os fatores de emissão, calculou-se a taxa de emissão de material particulado conforme equação 12, baseado na metodologia apresentada pela EPA (1995). Ressalta-se a que esta equação foi corrigida com o fator de precipitação pluviométrica devido as quedas de água serem mecanismos naturais no controle de lançamento de poluentes.

$$E = A * EF * \left(1 - \frac{ER}{100}\right) * FPP \quad \text{Equação 12}$$

Onde E=taxa de emissão (g.s^{-1}); A = taxa de atividade: área exposta à ação dos ventos (m^2); EF=fator de emissão ($\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$); ER= eficiência global de redução de emissões (%); FPP (fator de precipitação pluviométrica)= $\frac{(365-P)}{365}$ e P=número de dias no ano com precipitação superior a 0,254 mm.

As estimativas de emissão decorrente da ação eólica sobre os pontos de exposição de materiais do empreendimento foram quantificadas considerando as seguintes premissas:

- Para determinação do número de distúrbios foi considerado que os caminhões movimentam a Bacia de Secagem e na Cava aproximadamente 23 vezes ao dia, totalizando 60.030 distúrbios no ano. Como informado no item 5.2.4, não há movimentação de material no Pátio de estocagem da Mina Lamego. Porém, sabendo que a mesma sofre com o efeito eólico, foi considerada para fins de cálculo uma movimentação de 20 distúrbios por dia, totalizando 1.140 distúrbios/ano.
- A velocidade de fricção do vento (u^*) foi calculada a partir da velocidade máxima determinada pelo software AERMET. Ou seja, considerou-se a velocidade de

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

fricção constante para todos os dias do ano, assim como os potenciais de erosão. Sendo assim, utilizou-se, a velocidade máxima determinada pelo software: $u^*=1,938$ m/s.

- A Eficiência Global de redução foi considerada a média de 80 % entre a faixa de redução de poeira 70-90% sugerida pela referência TURNER et al (1987). Isso se deve ao fato de a mineração possuir a aspersão de água a cada duas horas.
- De acordo com o item 5.2.1, $FPP=0,794$.
- A velocidade de fricção do vento foi obtido pela relação aproximada entre os materiais envolvidos no arraste eólico e a tabela de referência disponibilizada na EPA (2006c).

Tabela 14: Inventário e emissão referente ao arraste eólico nas pilhas e cavas

Denominação	A -Área de exposição	Vel. de fricção mín do vento (u^*)	Potencial de Erosão	EF - Fator de Emissão ($g/m^2.ano$)			Taxa de Emissão (g/s)		
	m^2	m/s	g/m^2	PM2,5	PM10	PTS	PM2,5	PM10	PTS
Cava open Pit	11585	1,33	36,64	1,65E+04	1,10E+05	2,20E+05	9,62E-01	6,41E+00	1,28E+01
Bacia de Secagem Fill	250	0,62	133,70	6,02E+04	4,01E+05	8,03E+05	7,57E-02	5,05E-01	1,01E+00
Pátio de estocagem da Mina Lamengo	5	1,33	36,64	3,96E+03	2,64E+04	5,28E+04	9,96E-05	6,64E-04	1,33E-03

Fonte: Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiaba (Anglogold Ashanti)

5.2.6 Equipamentos Móveis

A Mineração Cuiabá conta vinte e três equipamentos móveis movidos a diesel, sendo as características dos mesmos apresentadas na Tabela 15. A estimativa de emissão desse tipo de fonte é baseada na metodologia proposta pela norma AP42 seção 3.3 para equipamentos com potência inferior a 600 cv (441 kW) e seção 3.4 para equipamentos com potência superior a 600 cv. Definido os fatores, a taxa de emissão foi determinada pela metodologia apresentada pela EPA (1995), conforme equação 13. Entretanto, como os equipamentos operam ao ar livre, inseriu-se o fator de precipitação pluviométrico (FPP) por tratar-se de um mecanismo natural de mitigação de emissão.

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

Equação 13

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Onde E=taxa de emissão (g.s^{-1}), A = Atividade: potência do motor operada em um determinado tempo (kWh.ano^{-1}); EF=fator de emissão ($\text{Kg de poluente.kWh}^{-1}$); ER= eficiência global de redução de emissões (%); FPP (fator de precipitação pluviométrica)= $\frac{(365-P)}{365}$ e P=número de dias no ano com precipitação superior a 0,254 mm.

Salienta-se que a taxa de atividade (A) necessária no equacionamento 14 foi obtida pelo produto da potência pelas horas anuais de operação (kW.h.ano^{-1}). Na Tabela 15 é apresentada os dados utilizados para obtenção da taxa de emissão referente à operação dos equipamentos. A norma não prevê fator de emissão para os poluentes $\text{PM}_{2,5}$ e PTS, porém, será considerada a mesma taxa de emissão de PM_{10} para estes dois poluentes de forma a manter um resultado conservativo.

Tabela 15: Inventário de emissão dos Equipamentos Móveis

Equipamento	Qtd.	Potência Motor (kw)	Horas de funcionamento (h/ano)	Fator de emissão (g/kWh)				Taxa de emissão (g/s)			
				NOx	CO	SOx	PM10	NOx	CO	SOx	PM ₁₀
Escavadeira	1	112	4368	18,85	4,06	1,25	1,34	0,23	0,05	0,02	0,01
Escavadeira (reserva)	1	232	0	18,85	4,06	1,25	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Trator de esteira	1	125	2148	18,85	4,06	1,25	1,34	0,13	0,03	0,01	0,01
Caminhão Pipa	1	225	2148	18,85	4,06	1,25	1,34	0,23	0,05	0,02	0,01
Caminhão Bâscula	7	225	4368	18,85	4,06	1,25	1,34	3,26	0,70	0,22	0,23
Carregadeira	1	142	2148	18,85	4,06	1,25	1,34	0,15	0,03	0,01	0,01
Patrol	1	145	300	18,85	4,06	1,25	1,34	0,02	0,01	0,001	0,001
Caminhão Bâscula	6	246	2148	18,85	4,06	1,25	1,34	1,50	0,32	0,09	0,09
Escavadeira	1	183	2148	18,85	4,06	1,25	1,34	0,19	0,04	0,01	0,01
Escavadeira (reserva)	1	115	0	18,85	4,06	1,25	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Carregadeira	1	124	2148	18,85	4,06	1,25	1,34	0,12	0,03	0,01	0,01
Carregadeira (reserva)	1	124	0	18,85	4,06	1,25	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Memorial de cálculo do Inventário de Emissões – Mina Cuiabá (Anglogold Ashanti)

Figura 7: Equipamentos Móveis



Fonte: Própria

5.2.7 Transporte de Minério via correias e processo de Britagem

A unidade da AngloGold Cuiabá realiza a cominuição do minério através de britadores, sendo o transporte deste material realizado do silo para a britagem por meio de correias transportadoras. Entretanto, conforme ilustrado pela

Figura 8, todo esse processo é enclausurado no interior de galpões. Além disso, as correias são fechadas, não ocorrendo escape de particulado de forma significativa. Por esse motivo não foi considerado como fonte de emissão essas duas situações.

Figura 8: Correias transportadoras e galpão de britagem



Fonte: Própria

6 METEOROLOGIA

Para a análise meteorológica foram utilizados os dados medidos pela Estação Pampulha A521 código 86800 do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) que se localiza a cerca de 24 km de distância da mina. A estação encontra-se a uma altitude de 854 metros e nas coordenadas geográficas 7801031.00 metros de latitude sul e 607889.00 metros de longitude oeste.

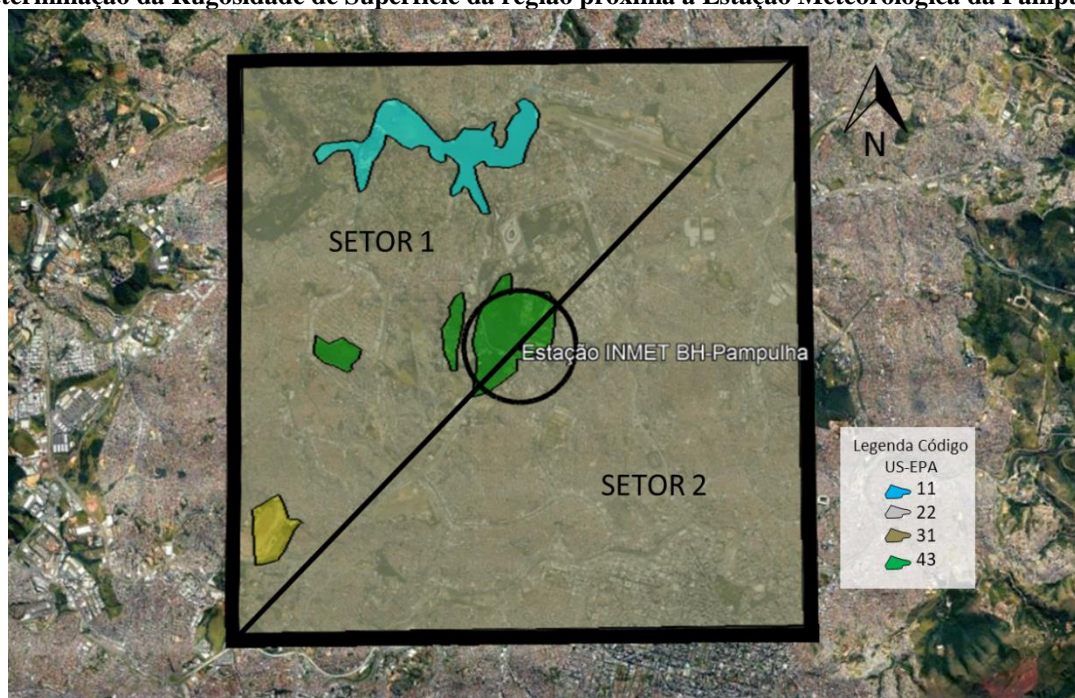
Os dados utilizados correspondem aos últimos três anos de coleta-janeiro de 2016 a dezembro de 2018- e foram tratados, avaliados e validados por um meteorologista, conforme APÊNDICE – VALIDAÇÃO METEOROLÓGICA. Neste parecer foi certificada a existência de mais de 90% de dados com resultados válidos e foi realizada uma análise estatística dos dados.

Conforme apresentado no item 3, para determinação dos parâmetros da camada limite e caracterização adequada da capacidade dispersiva da atmosfera pelo AERMET, são necessários, além dos dados meteorológicos medidos, os parâmetros de superfície como albedo, razão de Bowen e rugosidade de superfície.

A EPA (2019b) sugere equações e coeficientes para cada parâmetro que permite a estimativa dos valores de albedo, razão de Bowen e rugosidade, além de classificá-los com relação às estações do ano e a cobertura do solo. Para determinação de albedo e razão de Bowen é recomendado uma análise de área de 10 x 10 km centralizado no sítio da medição meteorológica. Em contrapartida, para rugosidade de superfície recomenda-se uma análise em uma área cujo raio seja igual a 1 km e centralizada no mesmo ponto. Desta forma, a Figura 9 ilustra as áreas recomendadas para determinação dos parâmetros de superfície referentes à Estação Meteorológica da Pampulha. Nota-se que a região foi dividida em dois setores de forma a obter valores de albedo, razão de Bowen e rugosidade realistas, uma vez que cada setor apresenta característica de superfície distinta. A Tabela 16 apresenta as porcentagens de ocupação e uso do solo para as duas regiões.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 9: Quadrado 10x10m para determinação do Albedo e Razão de Bowen e círculo de raio de 1 km para determinação da Rugosidade de Superfície da região próxima à Estação Meteorológica da Pampulha



Fonte: Própria

Tabela 16: Determinações da cobertura do solo
Quadrado de 10 km x10 km

SETOR	Código USEPA	Cobertura do Solo	Área (Km²)	Fração
1	11	Água	2,15	0,043
	22	Alta Int.Residencial	44,79	0,896
	31	Solo descoberto	0,73	0,015
	43	Floresta Mista	2,33	0,047
2	22	Alta Int.Residencial	49,55	0,991
	43	Floresta Mista	0,45	0,009
Rugosidade (1 km)				
SETOR	Código USEPA	Cobertura do Solo	Área (Km²)	%
1	22	Alta Int.Residencial	0,23	0,146
	43	Floresta Mista	1,34	0,854
2	22	Alta Int.Residencial	1,15	0,732
	43	Floresta Mista	0,42	0,268

Fonte: EPA (2019b) e dados próprios

Foram utilizadas para este estudo as médias dos coeficientes de superfície referentes às estações outono e primavera por serem mais representativos para o Brasil. Isso porque os registros

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

meteorológicos no país não são compatíveis com as características das estações verão e inverno do hemisfério norte, onde, por exemplo, há períodos de nevascas.

6.1.1 Albedo

O Albedo é determinado pela análise de uso e ocupação do solo de uma área de 10 km x 10 km como mencionado anteriormente, e pela média aritmética simples não ponderada (sem dependência da distância ou direção), conforme metodologia da EPA (2019b). As frações de cada cobertura do solo foram multiplicadas pelo valor de albedo apropriado, de acordo com a Tabela 17, e em seguida, aplicado o somatório destes produtos de forma a determinar o valor de albedo de cada setor.

Tabela 17: Valores de albedo para cada quadrante e a média aritmética final

SETOR	Código USEPA	Fração da área (FA)	Albedo	FA*Albedo	TOTAL
1	11	0,043	0,100	0,004	0,175
	22	0,896	0,180	0,161	
	31	0,015	0,200	0,003	
	43	0,047	0,140	0,007	
2	22	0,991	0,180	0,178	0,180
	71	0,009	0,140	0,001	

Fonte: EPA (2019b) e dados próprios

6.1.2 Razão de Bowen

Para determinação da Razão de Bowen aplica-se o cálculo de média geométrica simples não ponderada, considerando as frações de uso do solo. A região foi considerada úmida, pelo fato de a precipitação média estar maior que 30º percentil (EPA, 2019b) dos dados de precipitação da climatologia de Belo Horizonte disponibilizada pelo INMET (INMET, 2019b). A média geométrica utilizada é apresentada na equação 14. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 18.

$$M = e^{\frac{\sum \omega_i \ln(x_i)}{\sum \omega_i}} \quad \text{Equação 14}$$

Onde: M = Média geométrica; ω_i = Fração da área; x_i = Razão de Bowen para uma dada classificação de uso do solo.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Tabela 18: Valores de Razão de Bowen para cada setor e a média geométrica final

SETOR	Código USEPA	Fração da área (wi)	Razão de Bowen (xi)	wiln(xi)	Média geométrica
1	11	0,043	0,100	-0,099	0,860
	22	0,896	1,000	0,000	
	31	0,015	1,000	0,000	
	43	0,047	0,325	-0,052	
2	22	0,991	1,000	0,000	0,990
	43	0,009	0,325	-0,010	

Fonte: EPA (2019b) e dados próprios

6.1.3 Rugosidade

O coeficiente de rugosidade é determinado através da média geométrica ponderada do inverso da distância em sentido contrário a direção do vento em uma região de 1 (um) quilômetro de extensão em relação ao local de medição.

O fator utilizado no cálculo é baseado na distância entre o ponto central, local de instalação da estação meteorológica, ao ponto central da área de análise. Esse valor é multiplicado pelo logaritmo natural do coeficiente de rugosidade. Por fim, aplica-se a média geométrica, conforme equação 14, mencionada no item anterior. Porém, neste caso, ω_i = fator peso e o x_i = coeficiente de rugosidade.

A Tabela 19 contém a metodologia e os valores encontrados para o coeficiente de rugosidade final utilizados no estudo.

Tabela 19: Coeficiente de Rugosidade para cada quadrante e a média geométrica final

SETOR	Código USEPA	Fração da área [FA]	Distância [D] (km)	Peso: FA/D (wi)	Coeficiente de Rugosidade (xi)	wiln(xi)	Média Geométrica
1	22	0,146	0,930	0,158	1,000	0,000	1,200
	43	0,854	0,470	1,816	1,200	0,331	
2	22	0,732	0,670	1,093	1,000	0,000	1,200
	43	0,268	0,170	1,574	1,200	0,287	

Fonte: EPA (2019b) e dados próprios

7 MODELAGEM DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

7.1 Processamento dos dados meteorológicos (AERMET)

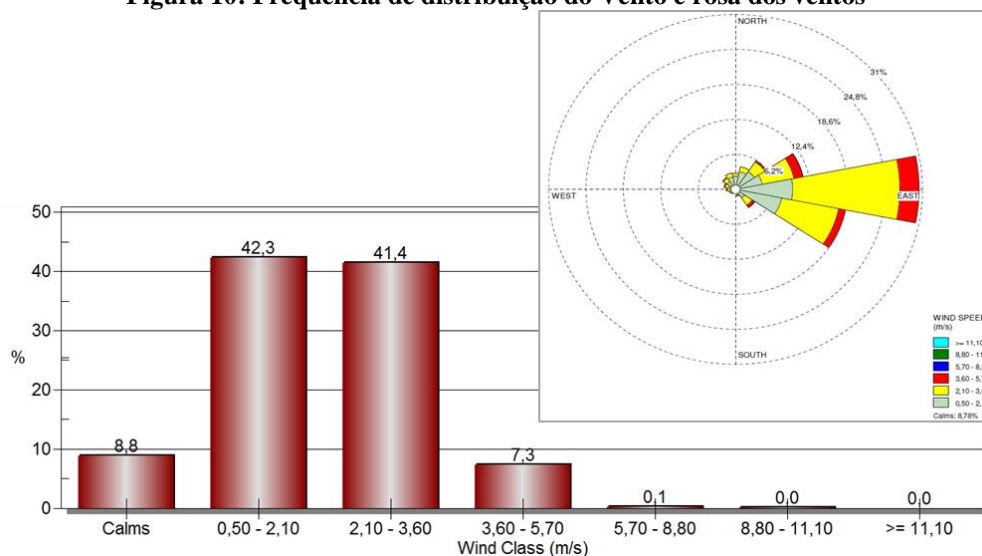
Os dados meteorológicos horários medidos pela estação do INMET localizada na região da Pampulha, em Belo Horizonte, e os parâmetros de superfície definidos no item anterior foram processados no software AERMET que gera arquivos na extensão necessária para entradas no modelo de dispersão AERMOD: Surface (.SFC) e Profile (.PFL).

No AERMET foram definidos os mesmos setores obtidos no item 6 para determinação dos parâmetros de superfície:

- Setor 1: 50° a 230°
- Setor 2: 230° a 50°

Observa-se pela Figura 10 que apenas 8,8% dos ventos possuem velocidade inferior a 0,50 m/s, sendo classificados pela Escala de Beaufort como ventos calmos. 83,7% possuem velocidade entre 0,50 a 3,60 m.s⁻¹, classificados como ventos de bafagem e aragem (MARINHA DO BRASIL, 2016). Ventos de bafagem/baragem movem-se constante, mas ligeiramente. Além disso, esta figura ilustra rosa dos ventos obtida pela estação. Como observado, os ventos se originam, predominantemente, da direção leste, oriundos do sistema de alta pressão que se situam no Oceano Atlântico.

Figura 10: Frequência de distribuição do Vento e rosa dos ventos

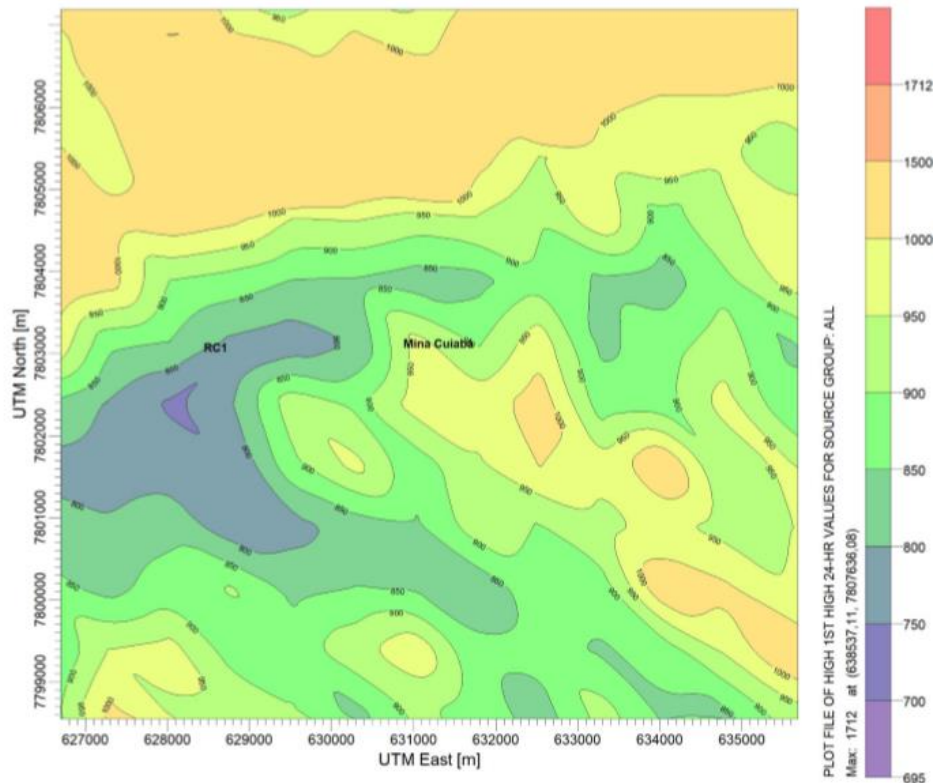


Fonte: AERMET (alterado)

7.2 Processamento dos dados topográficos (AERMAP)

A atual versão do AERMAP permite o download automático de vários formatos de arquivos de relevo, sendo que o formato utilizado neste estudo é o SRTM Global (Shuttle Radar Topography Mission) de 30 metros. A Figura 11 ilustra a topografia da região.

Figura 11: Topografia da região



Fonte: AERMAP

7.3 Processamento do modelo de dispersão (AERMOD)

Foi utilizado neste estudo o software AERMOD View, versão 9.8, da fabricante Lakes Environmental em suas condições “default”.

7.3.1 Fontes de Emissão

A emissão atmosférica oriunda do efeito eólico sobre as estradas foi considerada como fonte linha área no modelo AERMOD. A emissão decorrente da movimentação de veículos nas estradas foi classificada como fonte linha volume. As chaminés e exaustores foram inseridos como fonte pontual e as demais fontes em estudo, fontes área.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

7.3.2 Receptores Sensíveis

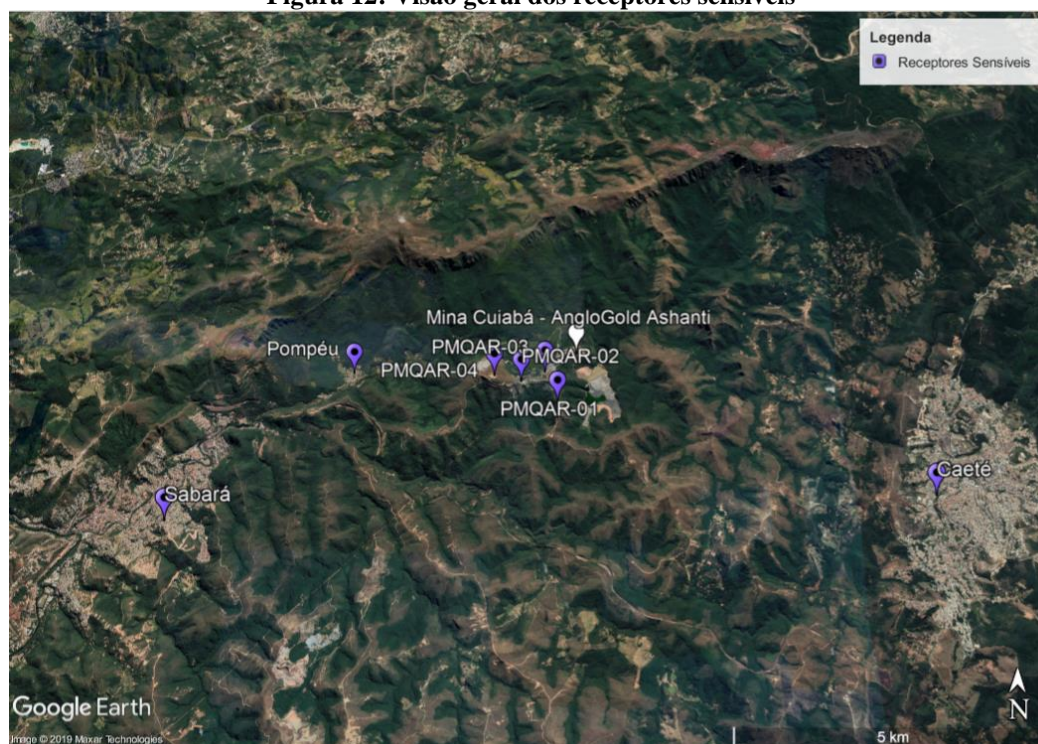
Para este estudo foi considerado alguns receptores sensíveis (locais de atenção quanto ao impacto ambiental ocasionado pelo empreendimento) presentes no entorno da mineração com o objetivo de conhecer a influência das fontes emissoras nesses pontos. As coordenadas geográficas dos receptores definidos estão expressas na Tabela 20 e representados na Figura 12. Também foi considerado como receptor sensível os quatro atuais pontos de monitoramento da qualidade do ar pertencentes à Mina Cuiabá. De acordo com a Figura 13, todos estão localizados no interior da empresa.

Tabela 20: Receptores Sensíveis ao entorno da Mina Cuiabá

Cod.	Denominação	Coordenadas (UTM)	
		Longitude	Latitude
R01	Bairro Pompéu/Sabará	628696	7802916
R02	Município de Caeté	639161	7800472
R03	Município de Sabará	625612	7799990
PMQA-01	Sistema de Exaustão Novo + Planta de refrigeração	632507	7802197
PMQA-02	Sistema de Ventilação Antigo (Antigo sistema de exaustão)	631840	7802632
PMQA-03	PTS - Prédio Administração	632277	7802827
PMQA-04	4ª Sistema de Exaustão	631343	7802727

Fonte: Própria

Figura 12: Visão geral dos receptores sensíveis



Fonte: Google Earth

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 13: Pontos de Monitoramento da Qualidade do Ar



Fonte: Google Earth

8 RESULTADOS DA MODELAGEM DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

8.1 Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS)

A maior concentração de partículas totais em suspensão (PTS) estimada na simulação pelo software AERMOD bem como as concentrações obtidas para os receptores sensíveis estão expressas na Tabela 21. Foram considerados para fins comparativos os padrões definidos pela CONAMA 491/2018 cujo valor máximo para o referencial diário é de $240 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ anual.

Tabela 21: Concentrações de PTS diárias e anuais

Receptores	Concentração ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		Coordenadas (UTM)	
	Diária	Anual	Longitude	Latitude
Máxima	4094,66	301,91	631037	7803136
Bairro Pompéu	125,91	23,46	628696	7802916
Município de Caeté	14,41	1,00	639161	7800472
Município de Sabará	29,87	2,91	625612	7799990
PMQAR-01	156,20	51,35	632507	7802197
PMQAR-02	671,01	181,19	631840	7802632
PMQAR-03	461,82	145,69	632277	7802827
PMQAR-04	163,76	50,85	631343	7802727

Fonte: AERMOD (alterado)

As Figuras 14 e 15 apresentam as plumas de dispersão do poluente PTS para o referencial diário e anual, respectivamente. A área delimitada pela isolinha de coloração roxa corresponde ao limite referente ao padrão da legislação para cada referencial temporal, ou seja, a partir desta área toda região encontra-se com concentração dentro do permitido pela CONAMA 491/2018. Para os dois casos, diário e anual, a pluma de impacto superior ao permitido está compreendida dentro dos limites territoriais da mineração ou em áreas ausentes de aglomerações populacionais. Quando se analisa as concentrações no local de maior relevância próxima à Mina Cuiabá (Tabela 21), observa-se que nos municípios vizinhos como o Bairro Pompéu, Caeté e Sabará os poluentes já chegam diluídos na atmosfera, propiciando concentrações de chegada inferiores ao padrão legal.

Por outro lado, o receptor PMQAR-02 (Sistema de Ventilação Antigo - Antigo sistema de exaustão) e PMQAR-03 (PTS - Prédio Administração) apresentaram registros de concentrações elevadas ao limite ambiental, nos dois referenciais temporais modelados. Contudo, esses pontos, encontram-se dentro do empreendimento e do lado de fontes de exaustão.

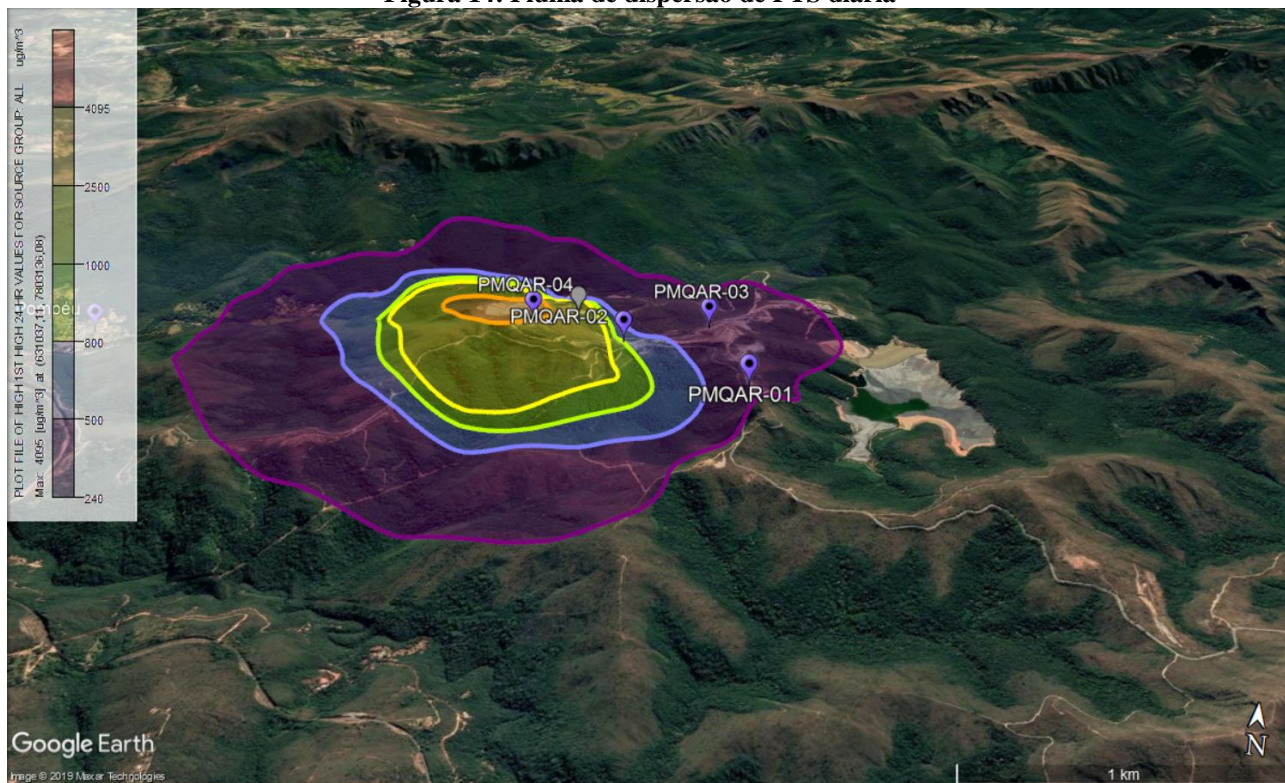
ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Pela análise topográfica (Figura 11) é possível inferir que o relevo apresenta muitas ondulações e que há uma elevação topográfica considerável de Norte à Oeste do empreendimento. Pela Figura 6 nota-se que os ventos se originam de Leste-Sudeste e escoam para Oeste-Noroeste. Logo, a pluma consegue se dispersar na direção predominante do vento, sendo impedida apenas ao colidir com essas irregularidades do relevo, como evidenciado nas figuras 14 e 15. Isso ocorre uma vez que a barreira orográfica dificulta a elevação dos poluentes, favorecendo sua decantação. Ressalta-se ainda que menos de 10% dos ventos predominantes na região são calmos, ou seja, o vento auxilia de forma significativa no transporte de poluentes pela atmosfera. Por fim, nota-se que o bairro Pompéu e os centros urbano de Sabará e Caeté não são afetados pelo processo produtivo de Cuiabá, pois esses locais não recebem concentrações elevadas de poluentes oriundos da mineradora.

Buscando favorecer o processo de dispersão da pluma, uma alternativa seria aumentar a altura das saídas nos exaustores que de acordo com a Tabela 2, varia de 7 a 8 metros. Além disso, aumentar a velocidade ou temperatura de saída dos poluentes auxiliaria no processo de dispersão. Todos esses fatores possibilita o maior tempo de permanência dos poluentes no ambiente antes de se depositarem no solo, permitindo uma maior diluição e, conseqüentemente, menor concentração.

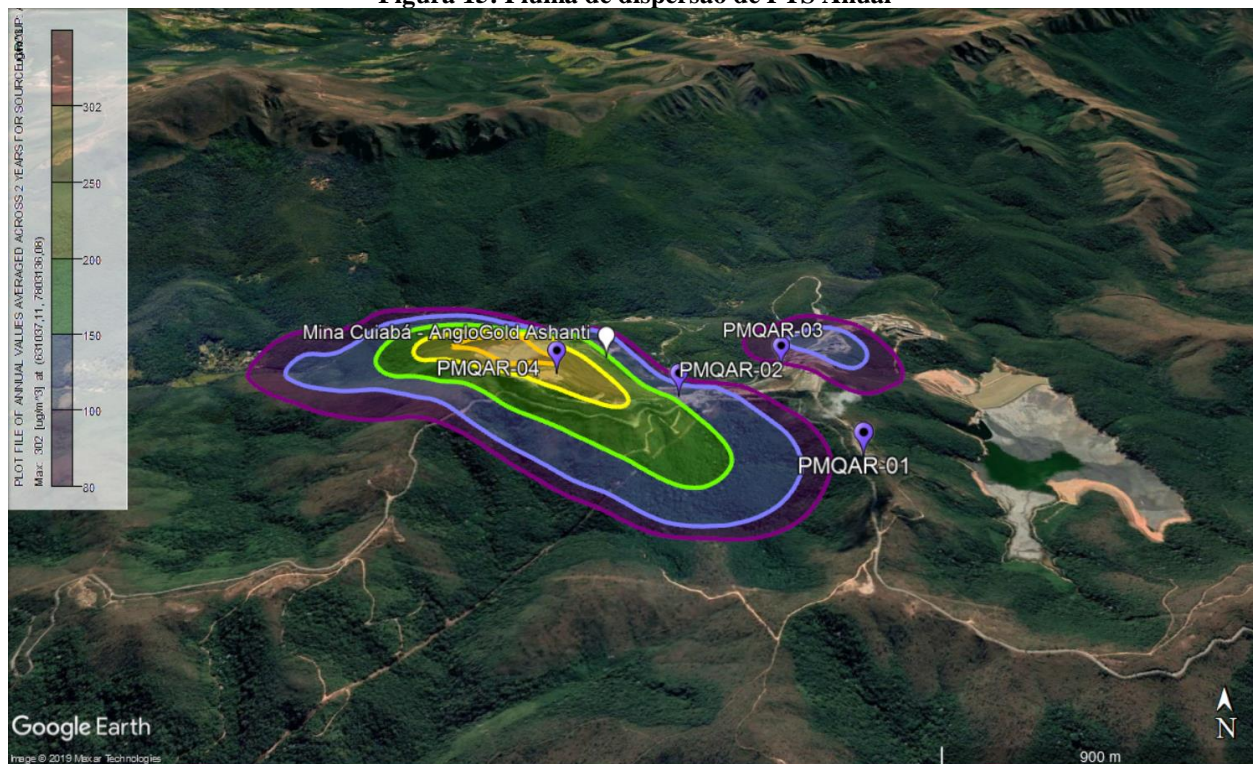
ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 14: Pluma de dispersão de PTS diária



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

Figura 15: Pluma de dispersão de PTS Anual



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

8.2 Concentração de Partículas Inaláveis (PM₁₀)

A maior concentração de partículas inaláveis (PM₁₀) estimada na simulação pelo software AERMOD bem como as concentrações obtidas para os receptores sensíveis estão expressas na Tabela 22. Foram considerados para fins comparativos os padrões definidos pela CONAMA 491/2018 cujo valor máximo para o referencial diário é de 120 µg.m⁻³ e 40 µg.m⁻³ anual.

Tabela 22: Concentrações de PM₁₀ Diário e Anual

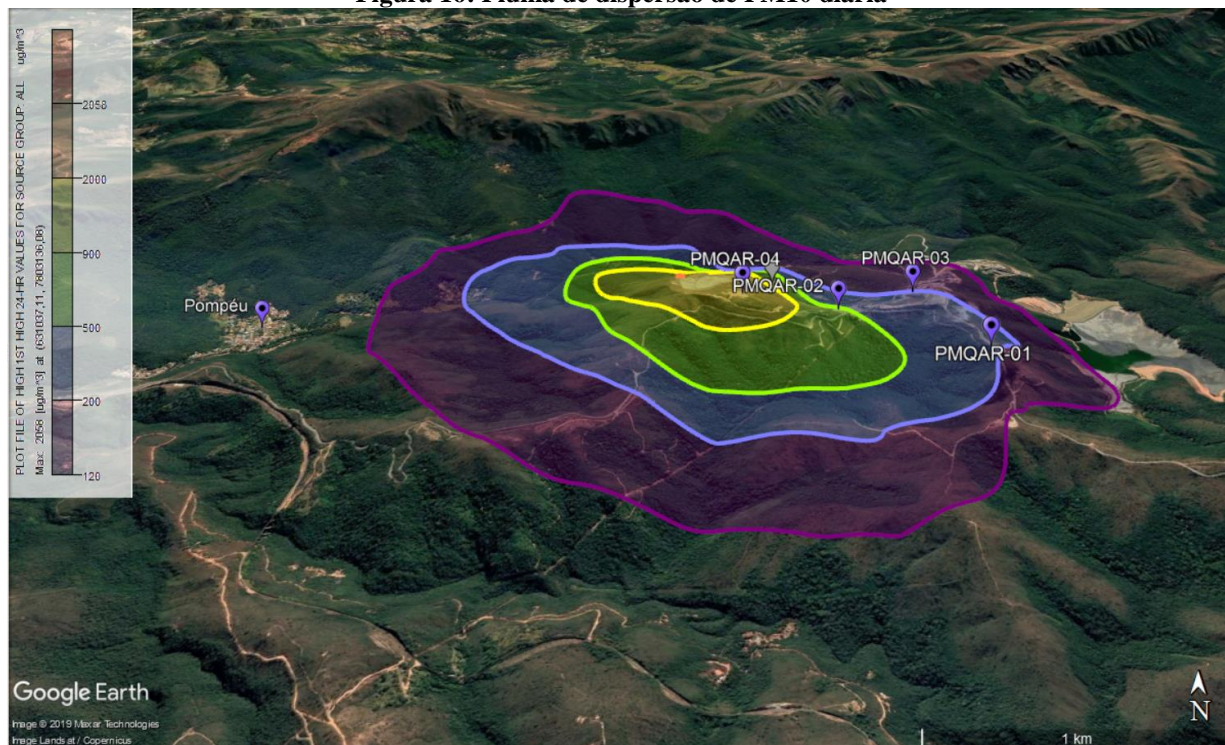
Receptores	Concentração (µg.m ⁻³)		Coordenadas (UTM)	
	Diária	Anual	Longitude	Latitude
Máxima	2057,80	165,56	631037	7803136
Distrito de Pompeu	68,47	13,07	628696	7802916
Caeté	7,64	0,55	639161	7800472
Sabará	15,68	1,64	625612	7799990
PMQAR-01	121,77	29,17	632507	7802197
PMQAR-02	510,66	115,16	631840	7802632
PMQAR-03	157,26	39,96	632277	7802827
PMQAR-04	104,29	34,25	631343	7802727

Fonte: AERMOD (alterado)

De acordo com os registros de concentrações estimadas na modelagem, houve registros com valores superiores aos limites estabelecidos pela CONAMA 491/2018, tanto para o referencial diário, quanto para o anual. Destaca-se os resultados obtidos para os receptores PMQAR-02 e PMQAR-03 que, conforme citado no item anterior, encontram-se dentro da zona operacional da mineração. Em oposição, os receptores externos considerados em aglomerados urbanos não são impactados, estando em conformidade com a legislação. A análise da dispersão da pluma (Figura 16e Figura 17) equivale-se ao exposto no item 8.1.

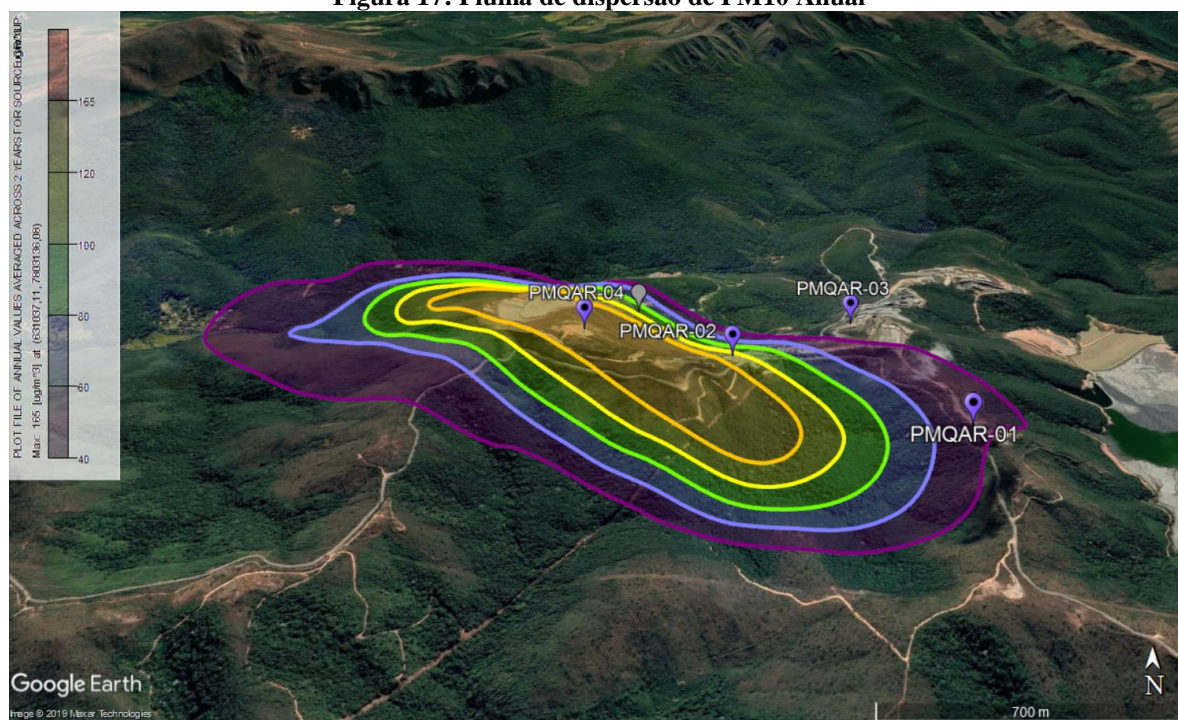
ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 16: Pluma de dispersão de PM10 diária



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

Figura 17: Pluma de dispersão de PM10 Anual



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

8.3 Concentração de Partículas Respiráveis (PM_{2,5})

A maior concentração de partículas respiráveis (PM_{2,5}) estimada na simulação pelo software AERMOD bem como as concentrações obtidas para os receptores sensíveis estão expressas na Tabela 23. Foram considerados para fins comparativos os padrões definidos pela CONAMA 491/2018 cujo valor máximo para o referencial diário é de 60 µg.m⁻³ e 20 µg.m⁻³ anual..

Tabela 23: Concentrações de PM_{2,5} Diário e Anual

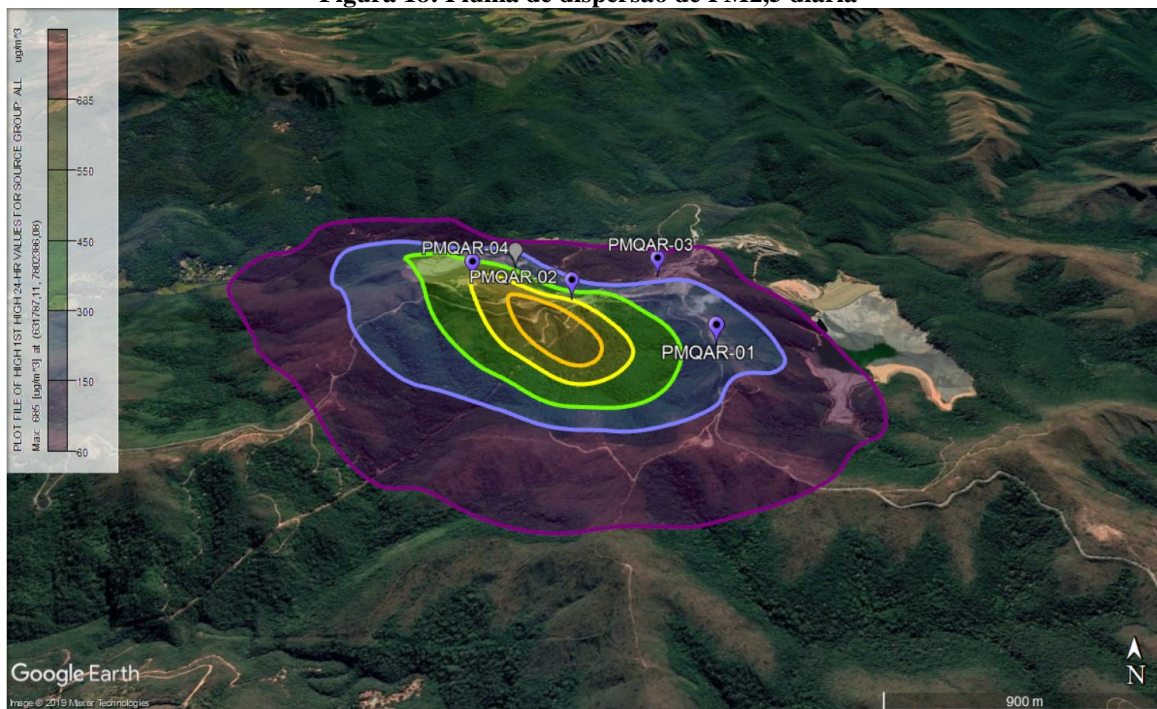
Receptores	Concentração (µg.m ⁻³)		Coordenadas (UTM)	
	Diária	Anual	Longitude	Latitude
Máxima	685,12	148,84	631787	7802386
Distrito de Pompeu	22,07	5,10	628696	7802916
Caeté	2,82	0,39	639161	7800472
Sabará	5,71	0,80	625612	7799990
PMQAR-01	112,17	26,42	632507	7802197
PMQAR-02	486,94	105,11	631840	7802632
PMQAR-03	104,61	21,51	632277	7802827
PMQAR-04	102,85	27,95	631343	7802727

Fonte: AERMOD (alterado)

De acordo com os registros de concentrações estimadas na modelagem, foi evidenciado que os quatro pontos de monitoramento da qualidade do ar recebem valores superiores aos limites estabelecidos pela CONAMA 491/2018, tanto para o referencial diário, quanto para o anual. A análise da dispersão da pluma (Figura 18 e Figura 19) equivale-se ao exposto no item 8.1.

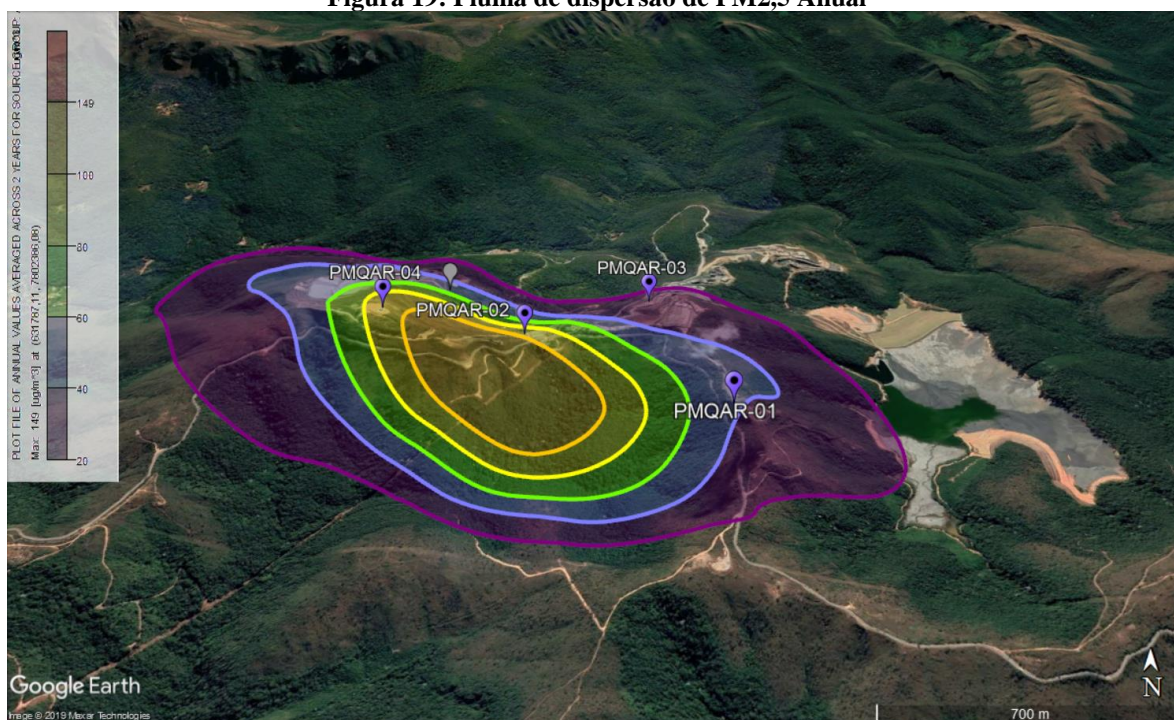
ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 18: Pluma de dispersão de PM_{2,5} diária



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

Figura 19: Pluma de dispersão de PM_{2,5} Anual



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

8.4 Concentração de Óxido de Enxofre (SO_x)

A maior concentração de óxido de enxofre estimada na simulação pelo software AERMOD e as concentrações obtidas nos receptores sensíveis definidos estão expressas na Tabela 24, bem como suas coordenadas geográficas. Foram considerados para fins comparativos os padrões de Dióxido de Enxofre (SO₂) definidos pela CONAMA 491/2018 cujo valor máximo para o referencial diário é de 125 µg.m⁻³ e 40 µg.m⁻³ anual. Na Figura 20 e Figura 21 estão representadas as plumas de dispersão diária e anual, respectivamente.

Tabela 24: Concentrações de SO_x diário e anual

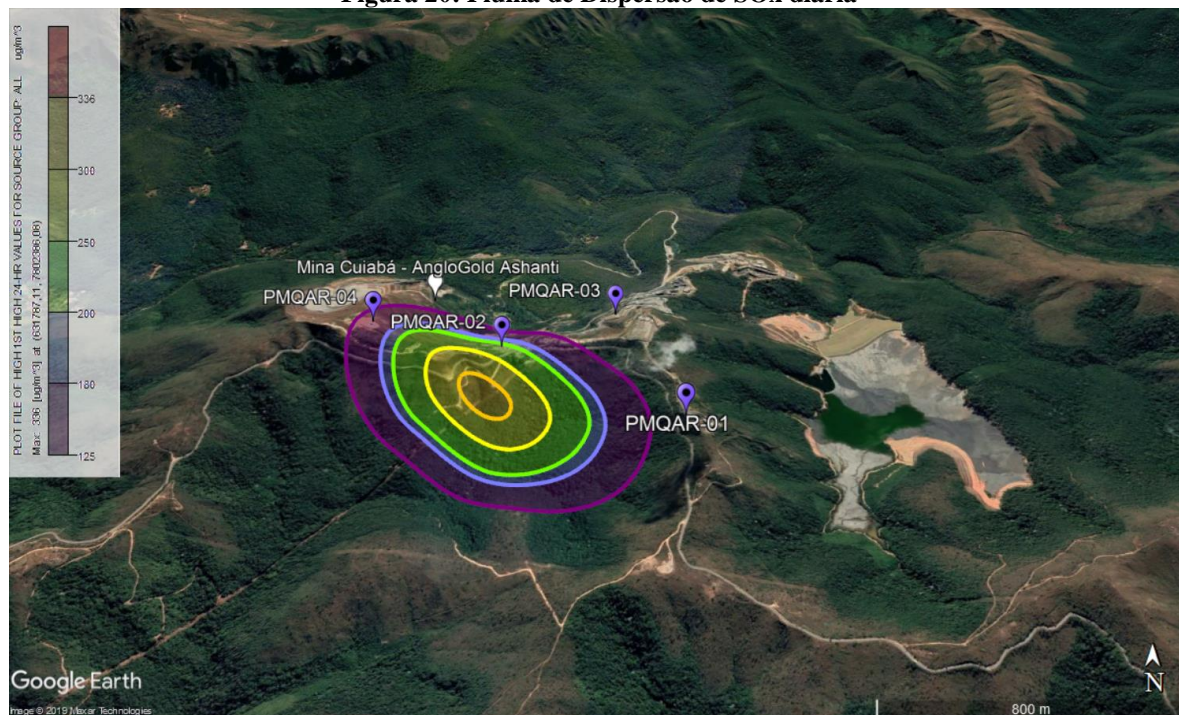
Receptores	Concentração (µg.m ⁻³)		Coordenadas (UTM)	
	Diária	Anual	Longitude	Latitude
Máxima	335,96	74,49	631787	7802386
Distrito de Pompeu	6,46	1,48	628696	7802916
Caeté	1,04	0,15	639161	7800472
Sabará	1,80	0,27	625612	7799990
PMQAR-01	44,85	10,99	632507	7802197
PMQAR-02	179,53	38,80	631840	7802632
PMQAR-03	35,59	6,37	632277	7802827
PMQAR-04	40,03	10,52	631343	7802727

Fonte: AERMOD (alterado)

De acordo com os registros de concentrações estimadas na modelagem foram evidenciado valores superiores aos limites estabelecidos pela CONAMA 491/2018, tanto para o referencial diário, tampouco para o anual. Entretanto, observa-se que as isolinhas de concentrações elevadas atinge apenas o site da mineração e que quando alcançam os receptores sensíveis, municípios vizinhos como Distrito de Pompeu, Caeté e Sabará, os poluentes já foram diluídos na atmosfera e as concentrações de chegada nesses pontos são inferiores ao padrão legal. A análise da dispersão da pluma equivale-se ao exposto no item 8.1.

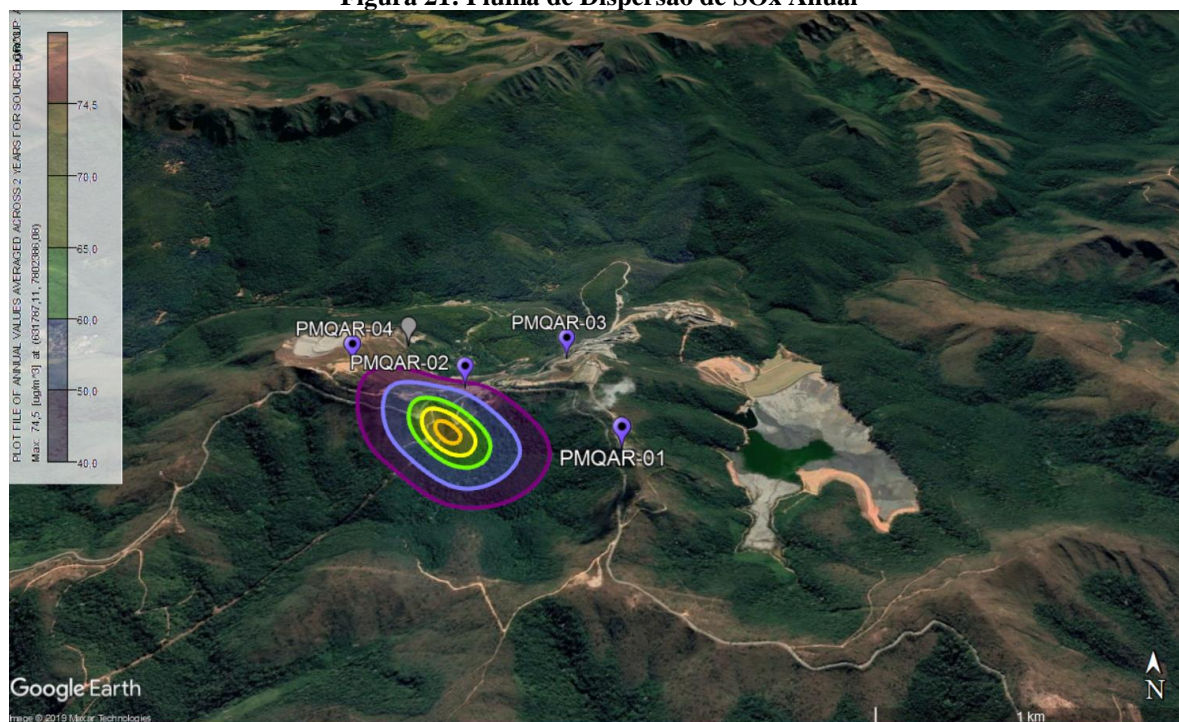
ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 20: Pluma de Dispersão de SOx diária



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

Figura 21: Pluma de Dispersão de SOx Anual



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

8.5 Concentração de Óxido de Nitrogênio (NO_x)

As maiores concentrações de óxidos de nitrogênio estimadas na simulação pelo software AERMOD e as concentrações obtidas nos receptores sensíveis definidos estão expressas na Tabela 25, bem como suas coordenadas geográficas. Foram considerados para fins comparativos os padrões de Dióxido de Nitrogênio (NO₂) definidos pela CONAMA 491/2018 cujo valor máximo para o referencial horário é de 260 µg.m⁻³ e 60 µg.m⁻³ anual. Na Figura 22 e Figura 23 estão representadas as plumas de dispersão horária e anual, respectivamente.

Tabela 25: Concentrações de NO_x horário e anual

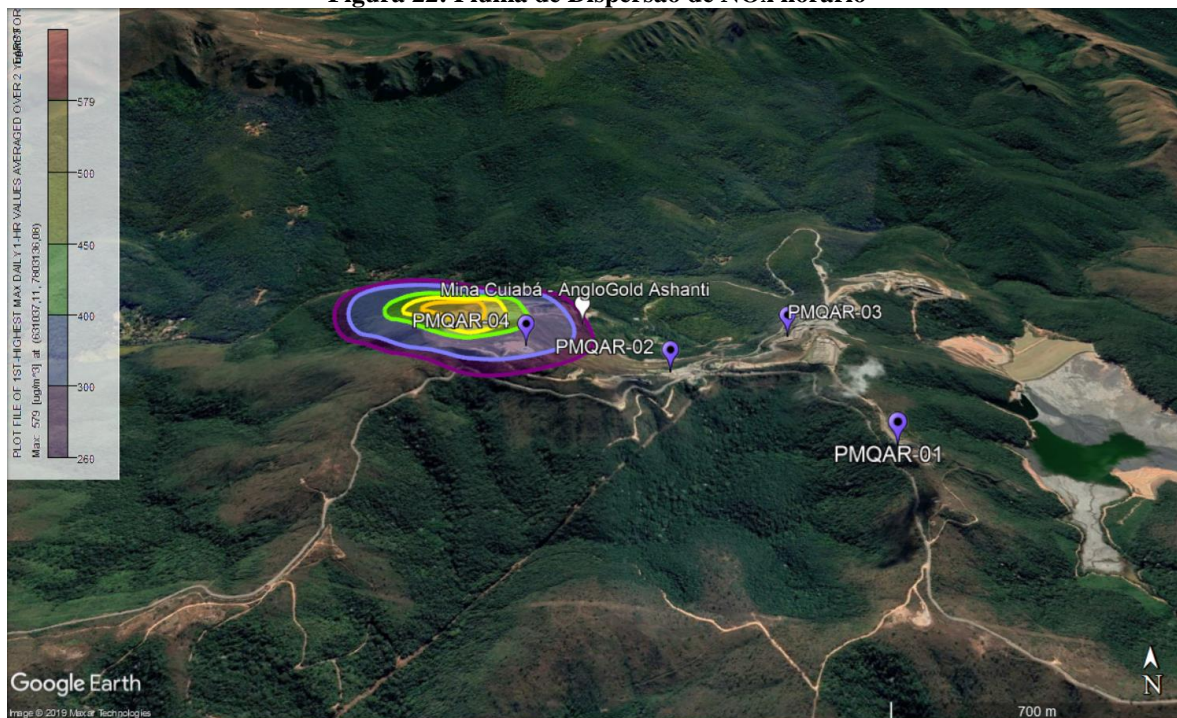
Receptores	Concentração (µg.m ⁻³)		Coordenadas (UTM)	
	Horário	Anual	Longitude	Latitude
Máxima	579,30	23,80	631037	7803136
Distrito de Pompeu	31,20	0,61	628696	7802916
Caeté	6,74	0,02	639161	7800472
Sabará	8,81	0,08	625612	7799990
PMQAR-01	20,82	1,33	632507	7802197
PMQAR-02	54,36	3,69	631840	7802632
PMQAR-03	26,88	1,49	632277	7802827
PMQAR-04	26,80	1,07	631343	7802727

Fonte: AERMOD (alterado)

De acordo com os registros de concentrações estimadas na modelagem foi evidenciado concentrações acima do limite legal para NO₂. Entretanto, enfatiza-se que foram inseridos na modelagem as taxas de emissão de NO_x e que os óxidos de nitrogênio são compostos em maior quantidade por monóxido de nitrogênio (NO), quantidades menores de dióxido de nitrogênio (NO₂) e traços de outros óxidos (TODOROSKI, HENSCHKE e YU, 2015). Visto isso, infere-se que as concentrações registradas após a simulação estão superestimadas, mesmo assim, os pontos de monitoramento da qualidade e receptores sensíveis definidos não sofrem impacto ambiental provocado por este poluente. A análise da dispersão da pluma equivale-se ao exposto no item 8.1.

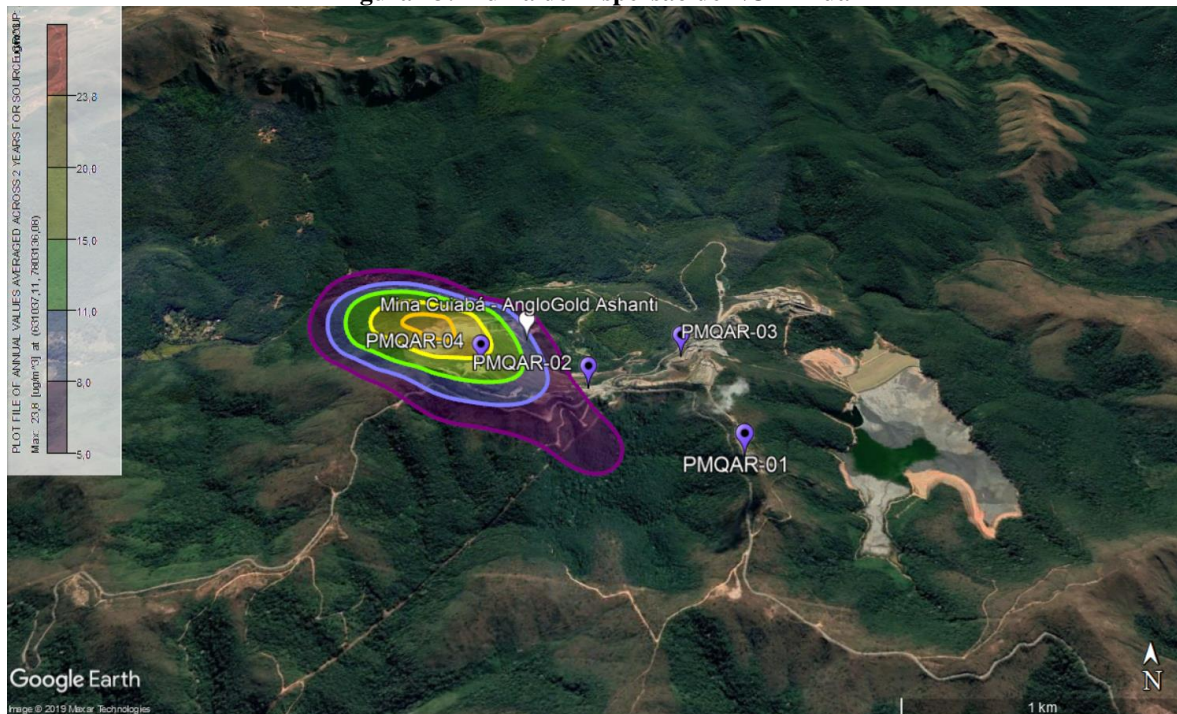
ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 22: Pluma de Dispersão de NOx horário



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

Figura 23: Pluma de Dispersão de NOx Anual



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

8.6 Concentração de Monóxido de Carbono (CO)

A maior concentração estimada na simulação pelo software AERMOD e as concentrações obtidas nos receptores sensíveis definidos estão expressas na tabela 26, bem como suas coordenadas geográficas. Foi considerado para fins comparativo o padrão de monóxido de carbono definido pela CONAMA 491/2018 cujo valor máximo para o referencial de 8 horas é de 9 ppm. Sabendo que o resultado do AERMOD é dado em $\mu\text{g.m}^{-3}$, foi necessário a conversão para ppm uma vez que o limite de qualidade do ar está expresso nessa unidade. Para isso considerou-se a massa de um mol de CO equivalente a 28 g e o volume do gás igual a 24,45 L. Desta forma, nenhum receptor atingiu os 9 ppm definidos como padrão pela Legislação CONAMA 491/2018. A Figura 24 representada a pluma de dispersão de 8h do monóxido de carbono.

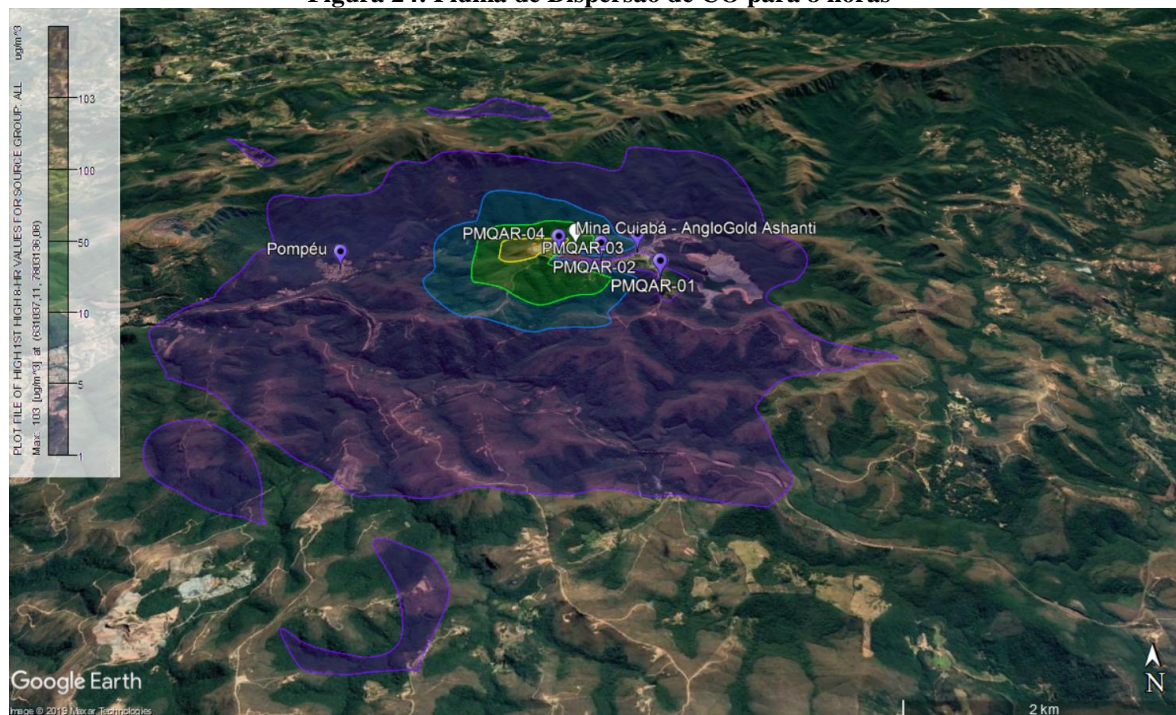
Tabela 26: Concentrações de Monóxido de Carbono para 8 horas

Receptor	8 HORAS			
	Concentração ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Concentração (ppm)	Coordenadas (UTM)	
			Longitude	Latitude
Máxima	102,53	0,0895	631037	7803136
Distrito de Pompeu	1,68	0,0015	628696	7802916
Caeté	0,36	0,0003	639161	7800472
Sabará	0,63	0,0006	625612	7799990
PMQAR-01	0,35	0,0003	632507	7802197
PMQAR-02	0,66	0,0006	631840	7802632
PMQAR-03	0,63	0,0006	632277	7802827
PMQAR-04	1,19	0,0010	631343	7802727

Fonte: AERMOD (alterado)

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 24: Pluma de Dispersão de CO para 8 horas



Fonte: AERMOD plotado no Google Earth

8.7 Correlação dos resultados do estudo com dados medidos de monitoramento

Após a simulação computacional é possível correlacionar os resultados obtidos na modelagem com os dados reais medidos na estação de monitoramento da qualidade do ar. Essa comparação permite ao empreendedor entender qual sua contribuição de fato na região sensível uma vez que a estação indica não apenas o impacto atmosférico decorrente das operações do empreendimento, mas outras fontes próximas ao equipamento. Por outro lado, a simulação computacional considera apenas as fontes emissoras da empresa em estudo. Para isso selecionou-se os relatórios referentes aos meses de Julho de 2017, 2018 e 2019 do laboratório AQUA AMBIENTAL para análise comparativa uma vez que o dia de maior concentração obtido pelo AERMOD é o dia 08 de julho de 2018.

Dessa forma, a Tabela 27 apresenta as concentrações medidas nas amostragens realizadas no mês de referência para cada estação de monitoramento da qualidade do ar e o valor máximo obtido para cada estação pela simulação computacional realizada pelo modelo AERMOD. Nota-se que os resultados obtidos na simulação computacional são superiores ao monitorado, o que não era esperado uma vez que apesar de as estações estarem localizadas dentro do sítio da AngloGold, o ar

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

ambiente é impactado por outras fontes emissoras próximas. Porém, deve-se destacar que embora se trate do mesmo mês e ano, não se pode afirmar que o processo produtivo do dia foi semelhante aos considerados na estimativa, taxa de movimentação de veículos, explosão subterrânea, dentre outras. À vista disso, os resultados da simulação computacional estão superestimados e apesar disso as comunidades próximas ao empreendimento não apresentaram resultados de concentração superior ao estabelecido pela CONAMA 491/2018, confirmando a afirmação de que as operações da MINA CUIABÁ não afetam as aglomerações populacionais próximas.

Para os demais poluentes (PM₁₀, PM_{2,5}, NO_x, SO_x e CO) não foi possível realizar essa comparação uma vez que não são monitorados pela Mina Cuiabá.

Tabela 27: Dados modelados x dados medidos

Ponto de Monitoramento	PTS				
	Parâmetros	Medido	Medido	Medido	Simulado
Sistema de Exaustão Novo + Planta de refrigeração	Conc. (µg.m ⁻³)	26,8	17,1	11,9	156,20
	Data	21/07/2017	19/07/2018	19/07/2019	08/07/2018
Sistema de Ventilação Antigo (Antigo sistema de exaustão)	Conc. (µg.m ⁻³)	-	28,4	44,6	671,01
	Data	-	20/07/2018	16/07/2019	08/07/2018
PTS - Prédio Administração	Conc. (µg.m ⁻³)	-	29,4	25,2	461,82
	Data	-	19/07/2018	18/07/2019	08/07/2018
4ª Sistema de Exaustão	Conc. (µg.m ⁻³)	43,8	13,8	9,5	163,76
	Data	21/07/2017	20/07/2018	16/07/2019	08/07/2018

Fonte: Relatório de monitoramento AQUA AMBIENTAL e AERMOD (alterado)

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

9 PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A qualidade do ar pode ser alterada por uma série de fatores como as condições meteorológicas, topografia local, presença de obstáculos e magnitude das emissões para a atmosfera. Todas essas variantes influenciam na dispersão dos poluentes, direcionando-os para pontos específicos, fatos primordiais na definição de pontos de instalação de redes de monitoramento da qualidade do ar. Assim, prioriza-se a instalação em locais com impacto direto de poluição atmosférica e que abrigue habitações, comunidades, assentamentos, dentre outros. Nesse sentido, a modelagem computacional da dispersão atmosférica atua como uma ferramenta importante na definição das zonas com maior influência da poluição.

Logo, caso exista algum receptor afetado diretamente pela emissão dos poluentes de um determinado empreendimento, recomenda-se que o provedor da fonte emissora monitore a qualidade do ar na região atingida. Assim, é possível acompanhar os possíveis danos oriundos do processo produtivo, como efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente. Além disso, sugere-se também o monitoramento à montante da fonte emissora de forma a avaliar o real impacto no ar ambiente decorrente das operações.

Para apoiar o trabalho de gerenciamento da qualidade do ar uma rede de monitoramento pode ser operada em vários sítios distintos de forma a permitir a avaliação dos níveis máximos de poluição do ar, níveis típicos em áreas povoadas, poluição do ar transportada para dentro e fora de uma cidade ou região, níveis de poluição do ar perto de fontes específicas, determinação da concentração de fundo (background), impacto da poluição do ar na visibilidade, danos à vegetação ou outros impactos relacionados ao bem-estar (EPA, 2019).

Para isso, porém, os resultados do monitoramento da qualidade do ar devem representar a concentração em uma escala espacial favorável aos objetivos da medição, sendo as escalas classificadas em:

- Microescala: representa o espaço em uma dimensão de até 100 metros;
- Média escala: representa o espaço de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes) com dimensões variando de 101 a 500 metros;

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

- Escala de bairro: representa bairros urbanos com atividade uniforme e dimensões entre 501 metros a 4 km;
- Escala urbana: representa cidades ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 km.

Definido a escala apropriada, o objetivo da medição e os poluentes que serão analisados, devem-se levar em consideração alguns critérios para instalação dos equipamentos de medição da qualidade do ar, sendo eles (EPA, 2019a; ENERGÉTICA, 2016):

- a) Evitar a instalação de monitores de material particulado próximo a vias não pavimentadas uma vez que estas são grandes fontes de emissão deste poluente. Em caso de inexistência de outro sítio mais favorável, deve-se existir ao menos uma cobertura vegetal durante todo o ano para que o impacto das poeiras sopradas pelo vento seja reduzido ao mínimo;
- b) Avaliar a existência de fontes de emissão de poluentes em escala menor próxima aos locais selecionados para instalação da rede de monitoramento. Fontes menores podem mascarar o estudo da qualidade do ar;
- c) Uma vez que os poluentes como óxido nítrico (NO), dióxido de enxofre (SO₂) e hidrocarbonetos reativos ao ozônio (O₃) podem ter um efeito de eliminação deste último, as estações de monitoramento deve estar longe de chaminés, incineradores ou outras fontes menores que produzem os poluentes citados. Com isso evita-se a não representatividade do monitoramento do O₃;
- d) A distância do obstáculo ao equipamento de monitoramento deve ser pelo menos duas vezes a altura que o obstáculo se projeta acima do medidor;
- e) As árvores atuam como depósito de material particulado e podem agir como superfícies de adsorção ou reações de SO₂, O₃ ou NO₂. Além disso, obstruem o fluxo natural depoluentes quando localizadas entre as fontes poluidoras e o local de monitoramento. Para reduzir essa possível interferência / obstrução, o equipamento deve ser instalado a uma distância de pelo menos 20 metros de árvores;
- f) Distância de 10 a 250 m de vias de tráfego de veículo de acordo com o fluxo de veículos para monitoramento de óxidos de nitrogênio (NO_x) e ozônio (O₃). De 10 a 150 metros para monóxido de carbono (CO);

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

- g) A entrada do amostrador deve ficar de 2 a 7 metros do solo em caso de monitoramento de micro escala e de 2 a 15 metros para as demais escalas;
- h) A entrada de ar do medidor de qualidade do ar deve ficar livre de qualquer obstrução e, no mínimo, a 2 metros de distância de outro amostrador de grande volume. Caso haja medidores sendo utilizados em amostragens paralelas com o objetivo de avaliações comparativas, as entradas devem ficar no máximo 4 metros umas das outras;
- i) O monitoramento deve acontecer em um período de 24 horas com coleta de meia-noite a meia-noite do dia seguinte (horário padrão local) para garantir a consistência nacional. Além disso, deve ser instalada preferencialmente na direção predominante do vento, em locais de potencial concentração de poluentes.

Além destes critérios a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2006, EPA, 2017) sugere um cronograma mínimo de amostragem a cada 6 (seis) dias, com um total de cinco monitoramentos por mês. O ano mais recente dos dados deve ser considerado para estimar o status da qualidade do ar no local próximo à área de concentração máxima. Porém, o uso dos três anos mais recentes de dados pode, em alguns casos, ser justificado para fornecer um banco de dados mais representativo a partir do qual se possa estimar o status atual da qualidade do ar e proporcionar estabilidade à rede uma vez que reduz a possibilidade de um ano anômalo influenciar na análise crítica de influência do empreendimento no ambiente.

Buscando avaliar o impacto na atmosfera do processo produtivo da Mina Cuiabá, a empresa dispõe de quatro pontos de monitoramento da qualidade do ar conforme apresentado no item 7.3.2 e localizadas no Sistema de Exaustão Novo + Planta de refrigeração, Sistema de Ventilação Antigo (Antigo sistema de exaustão), Prédio da Administração e Sistema de Exaustão. Porém, como indicado na Figura 13, tais estações encontram-se situadas no interior dos limites da AngloGold Ashanti, local onde rege leis de saúde e segurança ocupacionais. Sendo assim, considerando que a legislação CONAMA 491/2018 não foi criada com o intuito de preservar a saúde e a qualidade de vida dos trabalhadores, deve-se comparar os resultados obtidos por tais estações com normas aplicadas a ambientes laborais.



ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Por fim, sabendo que as aglomerações populacionais próximas (bairro Pompéu, centro urbano de Sabará e Caeté) não sofrem influência na qualidade do ar decorrentes do processo minerário da AngloGold Cuiabá, não é necessário instalar equipamentos de monitoramento da qualidade do ar nestas localidades. Ademais, os atuais pontos de medição, apesar de localizados no interior da empresa, situam-se próximo aos limites geográficas pertencentes à AngloGold Ashanti. Logo, sabendo que as amostragens realizadas no interior da empresa estão condizentes com o estabelecido pela CONAMA 491/2018, infere-se que em seu exterior, em locais habitáveis, também há conformidade com a legislação.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

10 CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o impacto causado no ar ambiente pela emissão de PTS, PM₁₀, PM_{2,5}, SO_x, NO_x e CO originados do processo operacional da Mina Cuiabá da empresa AngloGold Ashanti, localizada no município de Sabará, Minas Gerais.

Na modelagem foi utilizado o software AERMOD, recomendado pela USEPA, para simulação da dispersão atmosférica e seus processadores AERMAP para análise topográfica e AERMET para análise meteorológica. Os arquivos topográficos foram gerados automaticamente pela versão atual do modelo de dispersão, já os dados meteorológicos foram extraídos da estação da Pampulha do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para o período compreendido entre janeiro de 2016 a dezembro 2018. A estação encontra-se a 24 km de distância da mina e os dados obtidos foram analisados e validados, confirmando a presença de mais de 90% de dados aptos para representar a meteorologia local.

As taxas de emissão dos particulados emitidos pelas fontes não monitoradas -vias não pavimentadas, movimentação de material, arraste eólico e equipamentos móveis - foram estimadas com base na norma americana AP42 da USEPA, onde é definido um fator de emissão para cada tipo de fonte. A emissão decorrente do tráfego de veículos automotores foi estimada com referência ao determinado pela CETESB (2018). Por sua vez, as taxas de emissões das fontes monitoradas, chaminés e exaustores, foram extraídos dos relatórios de monitoramento atmosférico realizada pelo Laboratório AQUA AMBIENTAL nos meses de Junho, Julho e Agosto de 2019.

Destaca-se que concentrações acima do limite ambiental da CONAMA 491/2018 foram encontradas para as três granulometrias do material particulado (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}), contudo, esses pontos encontram-se dentro dos limites operacionais da mineração ou em locais ausentes de habitação humana. Em destaque os receptores PMQAR-02 e PMQAR-03 que, conforme citado, encontra-se dentro da zona operacional da mineração e também apresentaram concentrações excedentes. Em contrapartida, os receptores externos com presença de aglomerados urbanos não são impactados, uma vez que os registros no Bairro Pompéu em Sabará, municípios de Caeté e Sabará estão em conformidade com a legislação.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

O poluente SO_x apresentou máxima superior ao seu respectivo limite e concentração diária no PM₁₀-02 superior, entretanto, toda a área está compreendida nos limites operacionais da mineração. Para o poluente Óxido de Nitrogênio (NO_x), foram detectadas máximas superiores à norma ambiental porém todas as estações encontram-se em conformidade. Enfatiza-se que foram inseridos na modelagem as taxas de emissão de NO_x e que os óxidos de nitrogênio são compostos em maior quantidade por monóxido de nitrogênio (NO), quantidades menores de dióxido de nitrogênio (NO₂) e traços de outros óxidos (TODOROSKI, HENSCHKE e YU, 2015). Visto isso, infere-se que as concentrações registradas após a simulação estão superestimadas, mesmo assim, os pontos de monitoramento da qualidade e receptores sensíveis definidos não sofrem impacto ambiental provocado por este poluente. Por sua vez o poluente Monóxido de Carbono (CO) apresentou registros inferior ao seu limite legal em toda a grade modelada.

Por fim, ao comparar os resultados da simulação computacional com os resultados dos monitoramentos nas estações de qualidade do ar, constatou-se que os resultados simulados estão superestimados. Isso pode ser justificado pela consideração de taxas produtivas superiores à realidade operacional. Porém, sabendo que a produção minerária não é constante e que alguns parâmetros para elaboração do inventário foram estimados e baseados na literatura em virtude da inexistência de dados reais, é esperado divergências com os valores medidos. Porém, sabendo que com a simulação computacional não foram identificados impactos nas comunidades habitadas próximas à Mina Cuiabá e assegurando que as concentrações no ar ambiente reais são inferiores ao modelado, não é necessário realocar os atuais pontos de monitoramento situados no interior da empresa para zonas populosas.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGLOGOLD ASHANTI. Mineração de Ouro. **ANGLOGOLD ASHANTI**, 2016. Disponível em: <<https://www3.anglogoldashanti.com.br/negocios/Paginas/Mineracao-de-Ouro.aspx>>. Acesso em: 15 Outubro 2019.

CEMIG. **Atlas eólico : Minas Gerais**. CEMIG. Belo Horizonte, p. 84. 2010.

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2017**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 213. 2018.

ENERGÉTICA. **AGV PTS(AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME PARA PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO) - Manual de Operação**. Energética Qualidade do Ar. Rio de Janeiro. 2016.

EPA. **Introduction**. United States Environmental Protection Agency. [S.l.], p. 10. 1995.

EPA. **Unpaved Roads**. United States Environmental Protection Agency. [S.l.]. 2006a.

EPA. **Aggregate Handling and Storage Piles**. United States Environmental Protection Agency. [S.l.], p. 6. 2006b.

EPA. **Industrial Wind Erosion**. Carolina do Norte. 2006c.

EPA. **Paved Roads**. United States Environmental Protection Agency. [S.l.]. 2011.

EPA. **User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD)**. United States Environmental Protection Agency. Carolina do Norte, p. 333. 2016.

EPA. **Revisions to the Guideline on Air Quality Models: Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System and Incorporation of Approaches To Address Ozone and Fine Particulate Matter**. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. [S.l.]. 2017a.

EPA. **AERMOD Implementation Guide**. United States Environmental Protection Agency. Carolina do Norte, p. 39. 2018.

EPA. **Code of Federal Regulations - Title 40 – Protection of Environment/ Part 58 – Ambient Air Quality Surveillance/Appendix E to Part 58 – Probe and Monitoring Path Siting Criteria for Ambient Air Quality Monitoring**. U.S. Environmental Protection Agency. Washington. 2019.

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

EPA. **Code of Federal Regulations - Title 40 – Protection of Environment/ Part 58 – Ambient Air Quality Surveillance/Appendix E to Part 58 – Probe and Monitoring Path Siting Criteria for Ambient Air Quality Monitoring**. U.S. Environmental Protection Agency. Washington. 2019a.

EPA. **User’s Guide for Draft AERSURFACE Tool (Version 19039_DRFT)**. U.S. Environmental Protection Agency. [S.l.]. 2019b.

FEAM. **Metodologia para estimativa dos impactos ambientais associados ao tráfego veicular urbano**. Fundação Estadual do Meio Ambiente.. Belo Horizonte, p. 27. 2015.

FEAM. **ORIENTAÇÕES TÉCNICAS PARA A ELABORAÇÃO DE UM ESTUDO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, p. 10. 2019a.

FEAM. **ORIENTAÇÕES TÉCNICAS PARA A ELABORAÇÃO DE UM ESTUDO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA PARA EMPREENDIMENTOS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, p. 10. 2019b.

INMET. **NOTA TÉCNICA No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET**. Instituto Nacional de Meteorologia. [S.l.], p. 11. 2011.

INMET. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática. **Instituto Nacional de Meteorologia**, 2019a. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 26 outubro 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**, 2019b. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 02 Novembro 2019.

INPE. 23 de março: Dia Meteorológico Mundial – “Mais quente, mais seco e mais úmido – enfrentando o futuro”. **Centro de Ciência do Sistema Terrestre**, 2016. Disponível em: <<http://www.ccst.inpe.br/23-de-marco-dia-meteorologico-mundial/>>. Acesso em: 02 Outubro 2019.

MARINHA DO BRASIL. Escala Beaufort. **Centro de Hidrografia da Marinha**, 2019. Disponível em:

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

<https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u1907/beaufort_1.png>.

Acesso em: 21 Outubro 2019.

MMA. **Resolução CONAMA N° 491/2018 - Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.** MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. [S.l.], p. 155-156. 2018.

MOREIRA, D.; TIRABASSI, T. **Modelo Matemático de Dispersão de Poluentes na atmosfera:** um instrumento técnico para a gestão ambiental. [S.l.]: Ambiente & Sociedade, v. VII, 2004.

TODOROSKI, ; HENSCHKE, ; YU, M. **ASSESSMENT METHODOLOGY FOR NITROGEN DIOXIDE AS AN AIR POLLUTANT.** Todoroski Air Science. [S.l.]. 2015.

TURNER, J. H. et al. **A method for estimating fugitive particulate emissions from hazardous waste sites.** [S.l.]: EPA. U.S. Environmental Protection Agency, 1987.

WRAP. **WRAP Fugitive Dust Handbook.** Colorado: Countess Environmental , 2006.



ANGLOGOLD ASHANTI

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

APÊNDICE – VALIDAÇÃO METEOROLÓGICA

RELATÓRIO TÉCNICO METEOROLÓGICO 2019

RELMET_005-19_ESTAÇÕES BELO HORIZONTE (PAMPULHA)

RAFAEL MAIA FRENHE

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

1. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os métodos utilizados para a validação dos dados meteorológicos coletados pelas estações meteorológicas automáticas, uma do INMET A521 - Pampulha e outra do Aeroporto Carlos Drummond de Andrade - Pampulha, ambas localizadas no município de Belo Horizonte/MG. A posteriori esses dados serão utilizados na simulação da dispersão dos poluentes da empresa AngloGold mina Cuiabá no município de Sabará/MG.

2. APRESENTAÇÃO

A meteorologia é um dos principais parâmetros considerados na modelagem da dispersão atmosférica, pois os dados meteorológicos regionais são elementos de entrada, input, dos softwares utilizados para este estudo que consiste na simulação de como o poluente se dispersa na atmosfera após ser lançado por uma fonte emissora. Porém, o sucesso desses estudos depende, dentre outros fatores, da qualidade dos dados meteorológicos disponíveis. Esses dados precisam garantir que as condições meteorológicas do pior caso estejam representadas no modelo e retratar adequadamente o local de estudo.

Recomenda-se a apreciação de três anos de registros de uma estação meteorológica. Além disso, a quantidade mínima de informações aceitáveis compreende em pelo menos um ano de dados observados ou três anos de dados prognosticados por modelos atmosféricos, sendo aconselhável o uso dos observados, por serem dados medidos e não simulados (EPA, 2017).

Com relação às estações automáticas algumas ponderações foram definidas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para considerá-las confiáveis, dentre elas: a estação deve ser instalada em uma base física, numa área livre de obstruções naturais e prediais, situada em área gramada mínima de 14m por 18m, cercada por tela metálica (para evitar entrada de animais). Os sensores e demais instrumentos são fixados em um mastro metálico de 10 metros de altura, aterrado eletricamente (malha de cobre) e protegido por pára-raios. Os aparelhos para as medições de chuva (pluviômetro) e de radiação solar, bem como a antena para a comunicação, ficam situados fora do mastro, mas dentro do cercado (INMET, 2011).

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

O AERMOD View, ferramenta utilizada para o estudo de dispersão dos poluentes atmosféricos, exige uma quantidade mínima de informações meteorológicas para a modelagem, tais como: a direção e intensidade instantânea do vento, temperatura do ar e cobertura de nuvens. Porém, quanto mais dados meteorológicos disponíveis, maior a acurácia dos resultados. Por isso, foram também avaliados os seguintes parâmetros disponíveis pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET): umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, precipitação e radiação solar, além da altura do teto fornecida pelo Aeroporto de Pampulha.

O período de simulação compreendido neste estudo para a Unidade Mina Cuiabá da AngloGold é de 01/01/2016 a 31/12/2018. Para tal, optou-se pela estação do INMET, coordenadas geográficas 7801031.21 m S e 607889.75 m E, Zona 23K, e pela estação do Aeroporto Carlos Drummond de Andrade - Pampulha, coordenadas geográficas 7804702.46 m S e 609925.15 m E, Zona 23K (INMET, 2019), ambas localizadas no município de Belo Horizonte, situando-se, aproximadamente, a 24 e 22 quilômetros do empreendimento, respectivamente. A estação do INMET encontra-se a 854 metros de altitude, a do Aeroporto a 796 metros, enquanto a unidade da empresa encontra-se a, aproximadamente, 1014 metros.

3. ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta dos dados do INMET e do Aeroporto de Pampulha, os arquivos foram dispostos, organizadamente, para a análise e determinação da porcentagem de dados válidos correspondente a cada parâmetro. São necessários um mínimo de 90% de dados válidos e distância máxima de 50 quilômetros entre a estação meteorológica e o local de empreendimento para que a simulação feita pelo modelo possua melhores resultados.

Os cenários de curto e médio prazo são gerados a partir de uma combinação da qualidade da assimilação dos dados coletados, do processamento computacional e do conhecimento da evolução dos parâmetros físicos que descrevem a região de interesse. Particularmente, a qualidade dos dados que definem as condições iniciais da atmosfera influencia criticamente na evolução do modelo utilizado (INPE, 2016).

Em relação à climatologia de direção e intensidade do vento, observa-se que existe um sistema atuante sobre o estado de Minas Gerais, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS),

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

durante todo o ano e principalmente no inverno. Este sistema é semipermanente, o que significa atuação predominante na região em questão. A Figura A-I ilustra o sistema de alta pressão e a circulação a qual induz na América do Sul. Através desta imagem é possível visualizar a circulação de ventos de quadrante leste.

Figura A- I: Circulação geral da atmosfera



No verão, ventos de noroeste trazem umidade da Amazônia, sendo responsáveis pelas chuvas no local, principalmente através da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Com base nesse conhecimento sinótico, do relevo e dos dados climatológicos, pode-se determinar se os dados estão condizentes com o esperado.

Para prosseguir com o processo de validação, foram definidos intervalos de valores para as variáveis básicas de entrada no AERMOD: velocidade, direção do vento, temperatura e cobertura de nuvens, conforme Tabela A-I. Por sua vez, a Tabela A-II apresenta os intervalos para outras variáveis adicionais: umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação e radiação solar. A definição dos intervalos foi definida de acordo com as seguintes premissas:

- Cobertura de nuvens (CN): expressa em décimos de céu encoberto, ou seja, variando de 0 (nenhuma nuvem) e 10 (céu totalmente encoberto);
- Temperatura (T): intervalo definido baseado nas normais climatológicas registradas pelo INMET (1981-2010), onde o valor máximo é o maior valor absoluto já registrado na

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

região arredondado para cima, e o valor mínimo é o menor valor absoluto registrado, arredondado para baixo;

- Direção do vento (DV): entre 0° e 360° medidas no sentido horário, a partir do norte geográfico, referindo-se a todas as possibilidades de direção do vento;
- Velocidade do vento (VV): entre 0 m/s (total calmaria) e 32 m/s (tempestade violenta);
- Umidade relativa (UR): refere-se à quantidade de vapor contido numa parcela de ar, variando entre 0% (sem saturação) e 100% (saturado);
- Pressão atmosférica (P): a definição do intervalo foi baseada em duas etapas: 1ª) foi calculada a pressão atmosférica média local em função da temperatura e umidade relativa média computada através das normais climatológicas calculadas pelo INMET (1981-2010), e também em função da altitude local e da pressão média a nível do mar (1013,25 mb); 2ª) após o valor médio ter sido obtido, assume-se o valor máximo de pressão somando 20 à média arredondada para cima, e o valor mínimo subtraindo 20 da média arredondado para baixo;
- Altura do Teto (Ceil): é definida pela altura da base da camada de nuvens mais baixa em relação ao solo, em metros, que encobre o céu em 50% ou mais, ou seja, em valores de cobertura de nuvens iguais ou superiores a 6 décimos. O valor mínimo foi definido como 0 e o valor máximo em 15.000, sendo este último a altura média da tropopausa, região que divide a troposfera com a estratosfera, em uma região tropical.
- Precipitação (Pr): varia entre 0 mm e o valor máximo absoluto em 24 horas obtido através das normais climatológicas (INMET 1981-2010);
- Radiação solar (R): varia entre 0 W/m² e o valor máximo de 1367 W/m² que é a densidade média do fluxo energético proveniente da radiação solar.
- Temperatura de Ponto de Orvalho (Td): intervalo definido baseado nas normais climatológicas registradas pelo INMET (1981-2010), variando entre o valor calculado em função do menor valor absoluto de umidade relativa em conjunto com o menor valor absoluto de temperatura já registrado na estação arredondado para baixo (valor mínimo), e o maior valor absoluto para a temperatura de bulbo úmido já registrado na região arredondado para baixo (valor máximo);

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Tabela A- I: Valores definidos para validade dos dados dos parâmetros básicos do AERMOD

Intervalo	CN (0-10)	T (°C)	Dir (°)	Vel (m/s)
Mínimo	0	5	0	0
Máximo	10	40	360	32

Tabela A- II: Valores definidos para validade dos dados dos demais parâmetros fornecidos pelo INMET

Intervalo	UR (%)	P (mb)	Ceil (m)	Prec (mm)	Rad (W/m ²)	Td (°C)
Mínimo	0	900	0	0	0	-20
Máximo	100	940	15000	160	1367	30

4. RESULTADOS

Como mencionado anteriormente, fez-se um controle de qualidade das seguintes variáveis meteorológicas: cobertura de nuvens, temperatura, velocidade e direção do vento, umidade relativa, pressão atmosférica, altura do teto, precipitação e radiação solar. Dessa forma, a Tabela A-III e a Tabela A-IV apresentam os resultados para os dados tratados referentes às estações meteorológicas em questão.

As variáveis cobertura de nuvens e altura do teto (ceiling height) foram obtidas através dos dados fornecidos pelo Aeroporto de Belo Horizonte – Pampulha, e as demais variáveis pela estação automática do INMET – Pampulha.

Tabela A- III: Controle de qualidade dos dados meteorológicos da estação do INMET A521 e do Aeroporto de Pampulha

	CN (0-10)	T (°C)	Dir. Vento (°)	Vel. Vento (m/s)
Dados Esperados	26304	26304	26304	26304
Dados Registrados	26202	26250	26272	26272
Válidos	99,61%	99,79%	99,88%	99,88%
Inválidos	0,19%	0,00%	0,00%	0,00%
Ausentes	0,20%	0,21%	0,12%	0,12%
Valor Máximo	10	35,3	360	10,2
Valor Médio	3	22,0	86	2,0
Valor Mínimo	0	7,7	1	0,0

ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

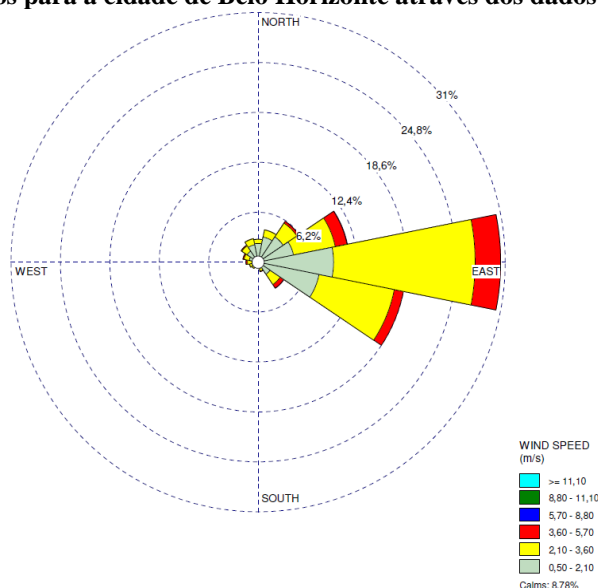
Tabela A- IV: Controle de qualidade dos dados meteorológicos da estação do INMET A521 e do Aeroporto de Pampulha

	UR (%)	P (mb)	Ceíl (m)	Prec. (mm)	Rad. (W/m ²)	Td (°C)
Dados Esperados	26304	26304	26304	26304	26304	26304
Dados Registrados	26250	26272	26202	26271	24917	26250
Válidos	99,79%	99,88%	99,61%	99,87%	94,73%	99,79%
Inválidos	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ausentes	0,21%	0,12%	0,39%	0,13%	5,27%	0,21%
Valor Máximo	94	931,6	3047,9	63,2	1166,83	22,4
Valor Médio	64	919,6	1521,5	0,2 / 2,7	223,96	14,3
Valor Mínimo	12	907,6	61,0	0,0 / 0,2	0,00	-5,2

Todas as variáveis estudadas referentes às estações Pampulha se enquadram dentro do intervalo de validade determinado na Tabela A-I e na Tabela A-II. Quanto à representatividade, todas as variáveis estão acima do limiar de 90% determinado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA), para o período compreendido entre janeiro de 2016 e dezembro de 2018.

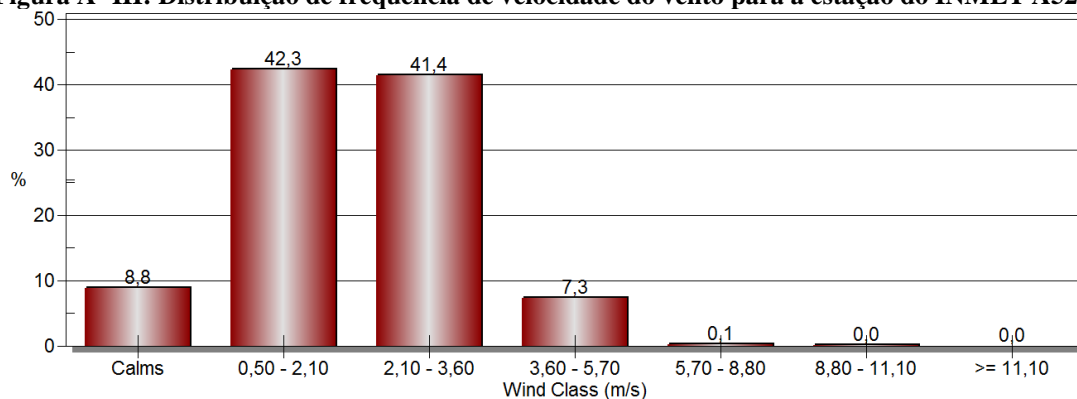
A Figura A-II retrata a rosa-dos-ventos para a cidade de Belo Horizonte/MG. É notável a predominância do vento que vem da direção leste, oriundo de sistemas de alta pressão que se situam no Oceano Atlântico, estando de acordo com o vento predominante segundo a climatologia (CEMIG – Atlas Eólico MG, 2008). Os ventos calmos contabilizaram em 8,78%, indicando que a região é bem ventilada. A frequência registrada em cada intervalo de velocidade do vento para a estação em questão está ilustrada na Figura A-III.

Figura A- II: Rosa dos ventos para a cidade de Belo Horizonte através dos dados da estação do INMET A521



ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura A- III: Distribuição de frequência de velocidade do vento para a estação do INMET A521



O quadrado em vermelho na Figura A-IV sinaliza as rosas dos ventos do município de Belo Horizonte e das regiões próximas, de acordo com o estudo da CEMIG. De acordo com o Atlas Eólico mencionado, a região do município de Belo Horizonte possui ventos predominantes que vêm de direção leste-sudeste. Esta referência foi importante para conhecer o vento mais atuante na região de uma forma climatológica.

Figura A- IV: Rosas-dos-ventos de Belo Horizonte e regiões adjacentes



5. CONCLUSÕES

A partir de todas as informações supracitadas, tanto para a análise da validação dos dados coletados do período entre 01/01/2016 a 31/12/2018 das Estações Meteorológicas, uma do INMET e outra do Aeroporto da Pampulha, localizadas no município de Belo Horizonte, quanto para a comparação climatológica e de superfície das regiões de Belo Horizonte e da Unidade da AngloGold, conclui-se que os dados fornecidos estão aptos para serem inseridos no AERMOD View. Isso porque os dados apresentaram validação superior a 90%, seja em quantidade, seja em qualidade dos dados coletados. Além disso, as estações de Belo Horizonte estão instaladas em um raio inferior aos 50 quilômetros exigidos pela FEAM (2019), sendo as estações escolhidas as mais próximas do sítio da AngloGold.

