



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



VALÉRIA KRISCIA RODRIGUES LIMA

**USO DE SUPRESSOR NATURAL NO CONTROLE DE PARTICULADOS EM
ACESSOS DE UMA MINA A CÉU ABERTO VISANDO REDUZIR O CONSUMO
DE ÁGUA.**

OURO PRETO

2022

VALÉRIA KRISCIA RODRIGUES LIMA

**USO DE SUPRESSOR NATURAL NO CONTROLE DE PARTICULADOS EM
ACESSOS DE UMA MINA A CÉU ABERTO VISANDO REDUZIR O CONSUMO
DE ÁGUA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Minas.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda

Coorientador: César Millan Carraro

OURO PRETO

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732u Lima, Valeria Kriscia Rodrigues.
 Uso de supressor natural no controle de particulados em acessos de
 uma mina a céu aberto visando reduzir o consumo de água. [manuscrito]
 / Valeria Kriscia Rodrigues Lima. - 2022.
 56 f.: il.: color., gráf., tab..

 Orientador: Prof. Dr. José fernando Miranda.
 Coorientador: Esp. César Millan Carraro.
 Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
 de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

 1. Mineração a céu aberto. 2. Passagem de minérios. 3. Poeira -
 Supressor. 4. Polímeros. 5. Água - Consumo. I. Carraro, César Millan. II.
 Miranda, José fernando. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 622.223

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Valéria Kriscia Rodrigues Lima

USO DE SUPRESSOR NATURAL NO CONTROLE DE PARTICULADOS EM ACESSOS DE UMA MINA A CÉU ABERTO VISANDO REDUZIR O CONSUMO DE ÁGUA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 08 de dezembro de 2022

Membros da banca

Dr. José Fernando Miranda - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Eng.ª de Minas Miriam Gomes Martins - Universidade Federal de Ouro Preto
Eng.º de Minas Augusto do Carmo Sousa Davin - Universidade Federal de Ouro Preto

José Fernando Miranda, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/12/022



Documento assinado eletronicamente por **Jose Fernando Miranda, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/12/2022, às 09:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0450515** e o código CRC **C33CB16D**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar ao meu lado.

Aos meus pais, Francisco e Rita, por sempre acreditarem em mim e pelo apoio incondicional.

Às minhas irmãs, Vanessa e Vanussy, pela cumplicidade sempre.

Ao Pastor Geraldo e irmã Geralda pelas orações.

Ao Departamento de Engenharia de Minas – DEMIN, da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino público e de qualidade.

Aos professores do DEMIN por todo ensino oferecido ao longo desses anos.

Aos meus orientadores José Fernando Miranda e César Millan Carraro, pelo incentivo e auxílio para a realização deste trabalho.

À Anglo American pela oportunidade de estágio e crescimento profissional.

À toda a equipe da Serviços de Mina. Obrigada pela oportunidade de aprender com vocês durante esses quase dois anos.

Aos amigos e amigas de Ouro Preto, por todos os momentos ao longo dessa jornada.

RESUMO

A busca por melhores condições ambientais e de trabalho obriga as empresas a melhorar os padrões de controle de emissão de partículas. Este trabalho revisou estudos sobre as principais fontes de poluição, na atividade minerária e as formas atuais de controle da poluição do ar, dando destaque para o uso de um supressor natural. Um produto que vem sendo cada vez mais utilizado devido ao seu potencial de evitar a formação de poeira e ajudar na estabilidade do solo. Foram realizados estudos bibliográficos sobre questões relacionadas à poluição do ar provocada pela mineração, as formas de controle de poeira na mina, avaliando, ainda, as doenças ocupacionais causadas pela exposição dos trabalhadores às emissões de poeira e finalizando com a avaliação dos resultados obtidos no teste do supressor natural nas vias de acessos na Anglo American para a redução da emissão de poeira e minimização do consumo da água. Parâmetros como tamanho da área a ser utilizada, tipo de pista, escolha de uma área adjacente para comparação dentre outros se mostrou eficaz na obtenção de 97% de redução do consumo da água utilizada nessa operação de controlar a poeira e reduziu em 77% a emissão de material particulado na área testada.

Palavras-chave: Poeira, supressor, polímero, acessos, água, redução.

ABSTRACT

The quest for better environmental and working conditions forces companies to improve particle emission control standards. This work reviewed studies on sources of smoke, mining activity and current ways of controlling smoke in the air, highlighting the use of a natural suppressant. A product that has been increasingly used due to its potential to prevent the formation of dust and help with soil stability. Bibliographical studies were carried out on issues related to the emission of smoke from the air by mining, forms of dust control in the mine, also assessing occupational diseases caused by exposure of workers to dust emissions and ending with the evaluation of the results obtained in the test of the natural suppressant on access roads at Anglo American to reduce dust emissions and minimize water consumption. Parameters such as size of the area to be used, type of runway, choice of an adjacent area for comparison, among others, proved to be effective in achieving a 97% reduction in water consumption used in this dust control operation and front lane by 77% at particulate matter in the tested area.

Keywords: Dust, suppressor, polymer, access, water, reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Conceição do Mato Dentro e municípios do entorno.....	12
Figura 2. Fluxograma da Usina de Beneficiamento da Mina do Sapo.....	13
Figura 3. Instalações Anglo American em Conceição do Mato do Dentro -MG.....	14
Figura 4. Poeira gerada por caminhão na mina da Anglo American.....	18
Figura 5. Principais fontes primárias de material particulado	19
Figura 6. Regiões de deposição do material particulado no trato respiratório.....	22
Figura 7. Poeira nos edifícios na cidade de Pequim, China.....	25
Figura 8. Caminhão basculando minério no britador.....	26
Figura 9. Poeira fugitiva devido a movimentação do caminhão basculante.....	27
Figura 10. Caminhão pipa umedecendo vias de acesso.....	30
Figura 11. Funcionamento básico do ea1.....	32
Figura 12. Área de aplicação do polímero.....	33
Figura 13. Cronograma de aplicação do supressor ea1.....	34
Figura 14. Técnico da Earth Alive ajustando a concentração do ea1.....	35
Figura 15. Caminhão pipa sendo abastecido com o ea1.....	35
Figura 16. Caminhão pipa com a barra adaptada para aplicação do polímero.....	36
Figura 17. Caminhão pipa com barra adaptada irrigando a pista com o ea1.....	36
Figura 18. Técnico da Earth Alive™ instalando dispositivo de medição de poeira.....	38
Figura 19. Mangueira do DustTrak que é colocada na roda traseira da caminhonete.....	39
Figura 20. DustTrak na parte traseira de uma picape.....	39
Figura 21. Estação de monitoramento.....	40
Figura 22. Estação de monitoramento de poeira instalada na mina da Anglo American.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Dados obtidos na 1ª medição do DustTrak	42
Gráfico 2. Dados obtidos na 2ª medição do DustTrak	43
Gráfico 3. Dados obtidos na 3ª medição do DustTrak.....	44
Gráfico 4. Média de concentração de MP10.....	45
Gráfico 5. Média de MP10 no ambiente em áreas tratadas e não tratadas.....	46
Gráfico 6. Média de MP10 no ambiente.....	46
Gráfico 7. Comparação entre a água usada na área de teste e área não tratada.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos poluentes atmosféricos.....	17
Tabela 2. Tipos de pneumoconioses segundo a natureza e a reação pulmonar.....	23
Tabela 3. Padrões de qualidade do ar.....	28
Tabela 4. Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações.....	28
Tabela 5. Protocolo de aplicações do polímero	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

μm – Micromêtro

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiental

Da – Diâmetro aerodinâmico

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

MG - Minas Gerais

MP - Material particulado

OECD – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

RJ – Rio de Janeiro

RNM – Normas Regulamentadoras De Mineração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Mina de estudo.....	12
1.2	Considerações introdutórias.....	14
2	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1	Objetivos Especificos.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	Poluição atmosférica.....	15
3.1.1	Classificação dos poluentes.....	16
3.1.2	Fontes poluentes das minas a céu aberto.....	17
3.1.3	Material particulado.....	18
3.2	Efeitos da poluição atmosférica.....	20
3.2.1	Efeitos na saúde humana.....	20
3.2.2	Efeitos na vegetação.....	23
3.2.3	Efeitos na fauna.....	24
3.2.4	Efeitos sobre os materiais.....	24
3.3	Material particulado em mina a céu aberto.....	25
3.3.1	Emissões diretas das atividades de mineração.....	25
3.3.2	Emissões fugitivas.....	26
3.4	Legislação ambiental.....	27
3.5	Métodos de controle de poeira.....	29
3.5.1	Método de aspersão com água.....	29
3.5.2	Método de aspersão com polímero.....	30
3.5.3	Polímero “supressor natural “.....	31
3.5.4	Especificação do supressor biológico.....	31
3.5.5	Vantagens do supressor biológico.....	32

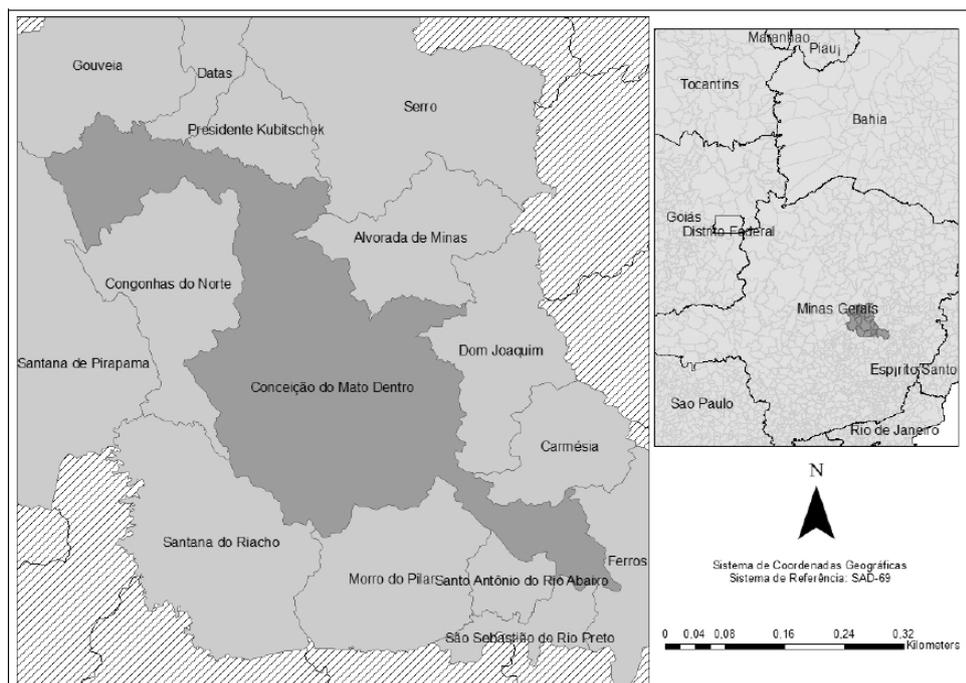
4	METODOLOGIA.....	33
4.1	Parametros da realização do teste.....	33
4.2	Protocolo para aplicações do polímero biológico.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5.1	Dados obtidos pelo <i>DustTrak</i>	41
5.2	Resultados obtidos nas estações de monitoramento.....	45
5.3	Resultados da eficiência hídrica.....	47
5.4	Elementos que afetaram o resultado dos testes realizados.....	48
6	CONCLUSÕES.....	48
7	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	49
8	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 Mina de estudo

A mina do sapo pertence a Anglo American e está inserida no sistema Minas-Rio, que conta com sua planta localizada nos municípios de Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas (Figura 1). O sistema Minas-Rio, administrado pela Anglo American, embarcou minério de ferro pela primeira vez em 2014 e atualmente é capaz de produzir 26,5 milhões de toneladas/ano de pellet feed com alto teor de ferro (67-68%). (SANTOS, 2022)

Figura 1 - Mapa de Conceição do Mato Dentro e municípios do entorno



Fonte: Becker e Pereira (2011)

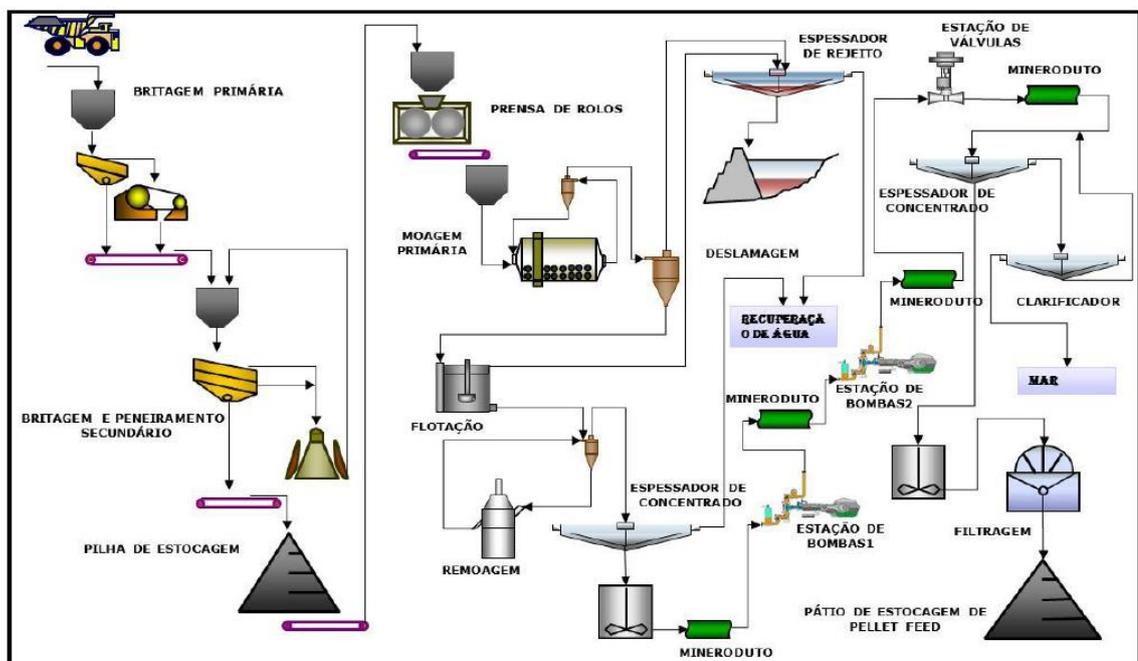
O processo de produção inclui as operações tradicionais de perfuração, desmonte, carregamento e transporte por meio de caminhões fora de estrada que transportam o material da frente de lavra até o destino planejado, minério para ser

usado em britadores primários ou estoques de mistura e resíduos para pilhas de deposição.

O minério que entra no britador é transportado para o concentrador e submetido à tecnologia de processamento e concentração, (Figura 2 – fluxograma de produção) e então o minério concentrado é transportado do interior de Minas Gerais até a cidade de São João da Barra (RJ) por 529 quilômetros de mineroduto, passando por 33 cidades. (SANTOS, 2022)

A Figura 3 mostra as instalações da Anglo American em Conceição do Mato Dentro- MG, destacando o setor da usina de beneficiamento.

Figura 2 - Fluxograma da Usina de Beneficiamento da Mina do Sapo



Fonte: Ferreira (2018)

Figura 3 - Instalações Anglo American em Conceição do Mato do Dentro -MG



Fonte: Moore (2021)

1.2 Considerações introdutórias

Almeida (1999) disserta que a mineração ocupa um lugar importante na história da humanidade, fornecendo uma vasta quantidade de minerais, matérias-primas e insumos vitais para o progresso e desenvolvimento das civilizações. No entanto, associadas à mineração, existem as preocupações ambientais da sociedade, em geral, tanto dentro como fora da mina.

Inúmeras atividades de exploração e beneficiamento mineral geram grandes quantidades de partículas finas. Todo e qualquer ambiente de trabalho contaminado por aerossol (poeira) pode causar sérios problemas de saúde para os trabalhadores.

Os problemas causados pela mineração no Brasil se enquadram em quatro categorias: poluição da água, poluição sonora, poluição do ar e subsidência da terra. (SILVA,2010)

A Anglo American tem uma meta de sustentabilidade hídrica de reduzir a retirada de água doce em 50% até 2030. (ANGLO AMERICAN,2022) Esse assunto será abordado nesse estudo mediante o uso de um supressor natural como método para mitigar a poluição do ar e redução do consumo de água.

2 OBJETIVO GERAL

Estudar a eficácia do uso de um supressor natural em uma determinada área da mina da Anglo American, visando a mitigação do alto consumo de água utilizada na aspersão da poeira gerada nos acessos da mina.

2.1 Objetivos Especificos

O objetivo principal do teste é avaliar a eficácia do polímero da Earth Alive, através dos parâmetros se haverá redução na poeira nas estradas da mina, se haverá redução do consumo de água.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Poluição atmosférica

Silva (2010) diz que a poluição atmosférica inclui um grande número de atividades, fenômenos e poluentes que contribuem para a deterioração da qualidade natural da atmosfera por meio de impactos negativos sobre o meio ambiente.

Poluentes atmosféricos são considerados todas e quaisquer formas de matéria ou energia de força e quantidade, concentração, tempo ou caráter que não atendam aos níveis prescritos por lei e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, prejudicial ou censurável à saúde, insalubre, benéfico ao bem público, prejudicial à matéria, à flora e à fauna; ou prejudicial à segurança, uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. (CETESB, 2007)

Assunção (1998) disserta a poluição do ar como um fenômeno causado principalmente por vários aspectos das atividades humanas, entre os quais o rápido crescimento da população, da indústria e da economia. A concentração da população e da indústria podem ser exemplos dessas atividades humanas.

A abertura de minas, a ampliação de passagens, a operação de máquinas de grande porte, o transporte e beneficiamento de materiais minerários, devido à grande quantidade de poeira gerada nesses locais, têm causado grandes alterações na qualidade do ar. (SILVA, 2010)

De acordo com Raven *et al.*(1995), a poluição atmosférica é composta por gases, líquidos ou sólidos que se estiverem presentes na atmosfera e em determinadas concentrações, acarretam danos a saúde humana, a fauna, flora e materiais. Esses danos não se restringem apenas onde se encontram as áreas que ocorreram a emissão (local de origem) pois ultrapassam fronteiras através da dispersão pelas correntes de ar. (EYRE *et al.* 1997)

Algumas atividades decorrentes da mineração, como a detonação, o transporte, a britagem e moagem, a ação do vento nas frentes de lavra e nos acessos da mina, dentre outras, podem ser relacionadas como as principais fontes de poluição do ar, gerando o material particulado (MP). Essas partículas podem apresentar diferentes diâmetros aerodinâmicos, sendo as com diâmetro menor que 10 µm as mais perigosas para a saúde humana.(SILVA,2010) Consoante a isso as empresas mineradoras buscam cada vez mais mitigar esse problema de poluição atmosférica usando supressores mais sustentáveis com o mínimo de impacto ambiental possível.

3.1.1 Classificação dos poluentes

Segundo Assunção (1998) a classificação dos poluentes é baseada na sua origem, estado físico e classe química. Os poluentes atmosféricos, em função do estado físico são classificados em dois grupos: material particulado e gases e vapores. Em função da origem são grupo primários (lançados diretamente na atmosfera) e secundários (produzidos através de reações químicas entre poluentes primários e componentes atmosféricos). E em função da classe química a que pertencem, como poluentes orgânicos e inorgânicos. A tabela 1 apresenta a classificação dos poluentes atmosféricos e seus exemplos.

Tabela 1. Classificação dos poluentes atmosféricos

CLASSIFICAÇÃO	EXEMPLOS
MATERIAL PARTICULADO	Poeiras, fumos, fumaça, névoas.
GASES E VAPORES	CO, CO ₂ , SO ₂ , NH _x , HC, NH ₃ , cloro, H ₂ S.
POLUENTES PRIMÁRIOS	CO, SO ₂ , cloro, NH ₃ , H ₂ S, CH ₄ , mercaptanas.
POLUENTES SECUNDÁRIOS	O ₃ , aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos.
POLUENTES ORGÂNICOS	HC, aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, partículas orgânicas.
POLUENTES INORGÂNICOS	CO, CO ₂ , cloro, SO ₂ , NO _x , poeira mineral, névoas ácidas e alcalinas.
COMPOSTOS DE ENXOFRE	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, sulfatos
COMPOSTOS NITROGENADOS	NO, NO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , nitratos.
CARBONADOS ORGÂNICOS	HC, aldeídos, álcoois.
COMPOSTOS HALOGENADOS	HCL, HF, CFC, cloretos, fluoretos.
ÓXIDOS DE CARBONO	CO, CO ₂

Fonte: Assunção, 1998

3.1.2 Fontes poluentes das minas a céu aberto

Nas minas a céu aberto, a poluição atmosférica acontece praticamente em todas as fases do processo minerário, como na extração, no transporte, no beneficiamento e na comercialização do minério. Como destaque, são produzidos, os seguintes poluentes atmosféricos: os óxidos de carbono (CO e CO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x), os hidrocarbonetos (H_c) e os materiais particulados. (SILVA, 2010)

O material particulado é o que tem maior potencial poluidor, pois além de estar presente em quase todas as atividades mineiras, desde a sua extração ao beneficiamento, pode permanecer presente na atmosfera como forma de partículas em suspensão por muito tempo.

A mineração é um exemplo de atividade que contribui significativamente para a emissão de material particulado. Como na maioria dos países em desenvolvimento, a maioria das mineradoras, refinarias de petróleo, siderúrgicas e petroquímicas estão localizadas em centros urbanos e são as grandes responsáveis pela emissão de poluentes na atmosfera. (CICHSKI, SOUZA e BIESDORF, 2009). A Figura 4 mostra a emissão de partículas em suspensão geradas por um caminhão em uma das vias de acesso na mina da Anglo American.

Figura 4 - Poeira gerada por caminhão na mina da Anglo American



Fonte: Earth Alive (2022)

3.1.3 Material particulado

Silva (2010) define material particulado (MP) como uma formação oriunda de fontes de emissões naturais e antropogênicas ou de substâncias sólidas ou líquidas que se formam na atmosfera e que se dispersos no ar, formam os aerossóis (soluções coloidais onde a fase dispersa é sólida ou líquida e a fase dispersora é a gasosa). As partículas primárias são formadas quando são emitidas diretamente dessas fontes, e as secundárias quando interagem com compostos pré-existentes na atmosfera. Essas partículas possuem variação de tamanho, composição química, morfologia e

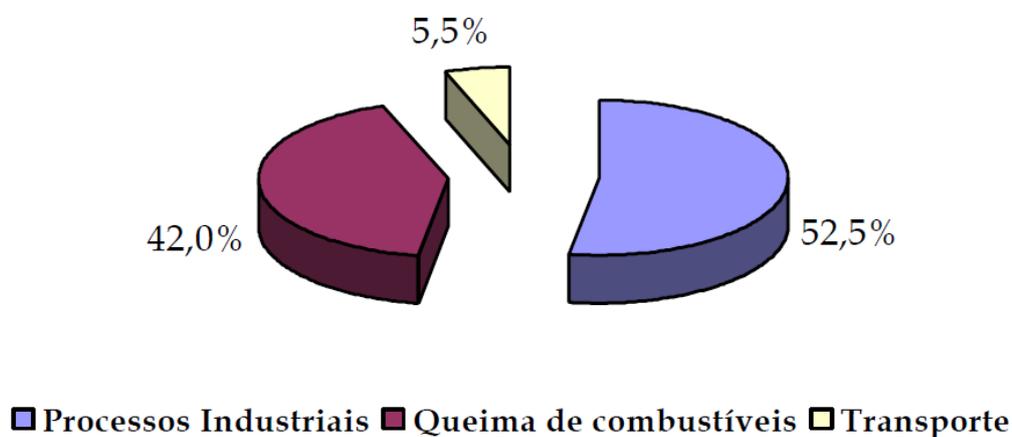
propriedades físicas.

Sob o termo geral de material particulado, existe um grupo de poluentes que consiste em poeira, fumaça e várias substâncias sólidas e líquidas que estão suspensas na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho. As principais fontes de material particulado lançado na atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, etc. (JUNIOR et al., 2013)

A diferença entre as partículas atmosféricas reside principalmente no seu diâmetro aerodinâmico. Portanto, elas são divididas em quatro categorias, a saber: partículas grossas (< 2,5 -10 μ m), partículas finas (0,1-2,5 μ m), partículas ultrafinas (0,01 -0,1 μ m) e nanopartículas (<0,01 μ m) . (BRITO, ARAUJO E SILVA, 2018)

Raven *et al.* (1995) afirma que existem três fontes principais de poluição do ar (fontes primárias) por material particulado: processos industriais (exceto queima de combustível), a queima de combustíveis (exceto em veículos) e transporte (veículos). A Figura 5 demonstra a porcentagem de cada fonte primária de material particulado.

Figura 5 - Principais fontes primárias de material particulado



Fonte: RAVEN et. al, (1995)

Assunção (1998) propõe dividir o material particulado em quatro categorias de acordo com o método de sua formação: poeira, fumaça, fumos e névoa.

- Poeiras - provenientes de processos de desintegração mecânica. São partículas sólidas geralmente com diâmetro na faixa acima de 1 mm.

- Fumos - condensação ou sublimação de substâncias gasosas resultantes da evaporação/sublimação de substâncias sólidas. São partículas sólidas geralmente em formato esférico e de tamanho pequeno.
- Fumaças - causados pela queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira. Maioria das partículas são sólidas, mas podem conter partículas líquidas (como fuligem) e uma fração mineral no caso de madeira e carvão. O tamanho é de diâmetro muito pequeno.
- Névoas - Partículas líquidas resultantes da condensação ou dispersão de líquidos (atomização). O tamanho dessas partículas é geralmente maior que 5 µm.

Nesse estudo será abordado apenas o material particulado, poeira.

3.2 Efeitos da poluição atmosférica

3.2.1 Efeitos na saúde humana

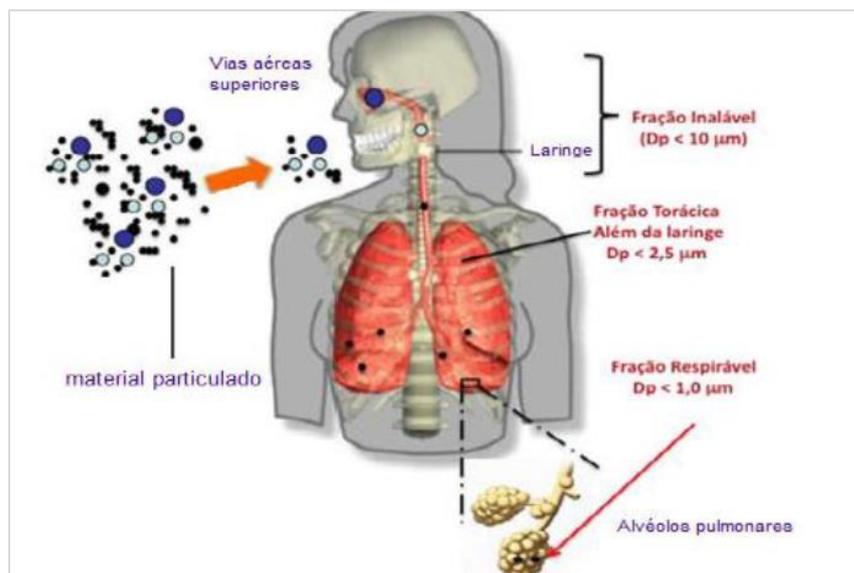
Almeida (1999) disserta que os poluentes do ar podem afetar a saúde humana de várias maneiras. Os efeitos variam de desconforto à morte. Alguns desses efeitos incluem irritação dos olhos e das vias aéreas; diminuição da capacidade pulmonar; aumento da suscetibilidade a infecções virais e doenças cardiovasculares; diminuição da função física; dores de cabeça; movimento e alterações enzimáticas; inchaço e pneumoconiose; danos ao sistema nervoso central; alterações genéticas; crianças com defeitos congênitos e câncer.

O relatório da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) publicado em 2012: “Perspectivas Ambientais para 2050: as Consequências da Inação” identificou várias projeções, destacando que na área da poluição do ar, se novas medidas ou políticas não forem implementadas, a qualidade do ar global continuará a se deteriorar e, até 2050, as doenças cardiorrespiratórias agravadas pela poluição por material particulado (MP) se tornarão a principal causa de morte relacionada ao meio ambiente globalmente, superando as mortes por malária,

poluição interna, consumo de água insalubre e falta de instalações de saneamento básico. (OCDE, 2011)

O potencial de efeitos adversos à saúde humana está diretamente relacionado ao tamanho das partículas. Portanto, quanto menor o tamanho da partícula, mais profunda a deposição no sistema respiratório, maior o impacto na saúde. Os principais sistemas afetados são os sistemas cardiovascular e respiratório, mas existem estudos mostrando efeitos no sistema reprodutivo, porém de difícil explicação. Na Figura 6, a área de deposição de partículas no sistema respiratório pode ser observada com base no diâmetro aerodinâmico (D_a). A fração inalável é composta por partículas com $D_a < 10 \mu\text{m}$, depositadas principalmente no trato respiratório superior. A secção torácica inclui partículas com $D_a < 2,5 \mu\text{m}$ que penetram na laringe. Por fim, frações respiráveis com $D_a < 1 \mu\text{m}$ são capazes de atingir os alvéolos. (KAMP et al., 2008; FERNANDES et al., 2010; SOUZA et al., 2010)

Figura 6 - Regiões de deposição do material particulado no trato respiratório



Fonte: Guarieiro et al. (2011)

3.2.1.1 Doenças pulmonares causadas por poeiras inorgânicas

As doenças pulmonares causada pela inalação de poeiras inorgânicas são definidas por pneumoconioses e podem ser classificadas segundo sua natureza e reação pulmonar conforme mostrado na Tabela 2 abaixo. (GOELZER, 2000)

Tabela 2. Tipos de pneumoconioses segundo a natureza e a reação pulmonar.

Pó inorgânico	Enfermidade	Reação pulmonar
Asbesto	Asbestose	Fibrose
Sílica Cristalizada	Silicose	Fibrose
Berilo	Enfermidade pó berilo	Fibrose
Carboneto de tungstênio	Enfermidade por metais duros	Fibrose
Ferro	Siderose	Ausência de fibrose
Estanho	Enfermidade do pó de estanho	Ausência de fibrose
Bário	Baritose	Ausência de fibrose

Fonte: Silva (2010)

3.2.2 Efeitos na vegetação

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a vegetação vão desde necrose tecidual de folhas, caules e frutos; a redução e/ou supressão da proporção de crescimento; a maior suscetibilidade doenças, parasitas e agentes atmosféricos até a completa interrupção do processo reprodutivo da planta.

Os danos podem ser agudos ou crônicos e são acompanhados por uma redução na penetração da luz e portanto na capacitância fotossintética, geralmente devido à deposição de partículas nas folhas; pela penetração de poluentes através das raízes após a deposição de partículas ou a dissolução de gases no solo; da penetração de poluentes através dos estômatos, que são pequenos poros na superfície das plantas. (ASSUNÇÃO, 1998)

3.2.3 Efeitos na fauna

Na vida animal, os efeitos da poluição do ar incluem o enfraquecimento do sistema respiratório, danos aos olhos, dentes e ossos, aumento da suscetibilidade a doenças, pragas e outros riscos ambientais relacionados ao estresse, fontes de alimentos reduzidas e reprodução diminuída. (ALMEIDA, 1999)

3.2.4 Efeitos sobre os materiais

A deposição de partículas, principalmente poeira e fumaça, é o primeiro efeito perceptível da poluição do ar nos materiais.

Almeida (1999) destaca que essa deposição acontece geralmente em edificações e monumentos. Os efeitos dessa deposição nessas estruturas incluem principalmente descoloração, erosão, corrosão, enfraquecimento e degradação dos materiais de construção. A Figura 7 mostra a deposição de poeira em edifícios na cidade de Pequim na China.

Figura 7. Poeira nos edifícios na cidade de Pequim, China.



Fonte: G1 (2012)

3.3 Material particulado em mina a céu aberto

A emissão de material particulado se dá em todas as fases da atividade minerária.

BRAILE (1998) divide as fontes de emissão atmosférica, decorrentes das atividades de mineração, como sendo:

3.3.1 Emissões diretas das atividades de mineração

As emissões diretas vêm primeiramente das matérias-primas transportadas pelo caminhão basculante, como por exemplo o minério de ferro, o caminhão descarrega na alimentação do britador primário, e após a britagem, são transportados e peneirados. Nessas fases do processo minerário são emitidas partículas de poeira. A Figura 8 mostra um caminhão descarregando minério no britador.

Figura 8. Caminhão basculando minério no britador



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

3.3.2 Emissões fugitivas

As emissões fugitivas são provenientes de emissões não estacionárias, ou seja, que não se encontram no local de origem. Por exemplo um caminhão basculante que devido a sua movimentação solta material particulado da carga que está sendo transportada. São mais difíceis de controlar devido sua inconstância em relação ao local que se encontra. E contribuem significativamente para o total de poeira gerada pela mina. A Figura 9 mostra um exemplo de poeira fugitiva.

Figura 9. Poeira fugitiva devido a movimentação do caminhão basculante



Fonte: Earth Alive (2022)

3.4 Legislação ambiental

No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar que foram aprovados pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) por meio da Resolução CONAMA nº. 03 de 28.06.90, atualmente essa resolução foi revogada e substituída pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

Segundo o CONAMA (2018) o padrão de qualidade do ar é uma das ferramentas de gestão da qualidade do ar, determinado como o valor da concentração de um poluente específico na atmosfera, que está associado ao intervalo de tempo de exposição para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica.

Os padrões de qualidade do ar são baseados em pesquisas científicas sobre os efeitos de poluentes específicos e são estabelecidos em níveis onde há margem de segurança adequada.

Os padrões nacionais de qualidade do ar e os níveis de atenção , alerta e emergência, definidos pelo CONAMA, são mostrados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Padrões de qualidade do ar

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	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	-
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						

Fonte: CONAMA (2018)

Tabela 4. Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO ₂ µg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado		CO ppm (média móvel de 8h)	O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h)	NO ₂ µg/m ³ (média de 1h)
		MP ₁₀ µg/m ³ (média de 24h)	MP _{2,5} µg/m ³ (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

SO₂ = dióxido de enxofre; MP₁₀ = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm;
MP_{2,5} = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm; CO = monóxido de carbono;
O₃ = ozônio; NO₂ = dióxido de nitrogênio µg/m³; ppm = partes por milhão.

Fonte: CONAMA (2018)

3.5 Métodos de controle de poeira

A prevenção contra poeiras regulamentada pela RNM 9 (1978) torna evidente o grande desperdício de água. Em janeiro de 2022, o texto da NRM 9, tal como o de outras Normas Regulamentadoras, passou por atualizações. Portanto, todas as empresas precisam entender as alterações para entrar em acordo com o que determina o governo brasileiro. O principal método de prevenção da formação de poeira é o uso de aspersores de água nos acessos da mina, que geralmente são acoplados a caminhões-pipas para assim umedecer as vias. Esta abordagem gera muitos problemas como: tráfego rodoviário, acidentes, ineficiência na padronização da aplicação de água e o alto custo do processo. (HORTA, 2016)

A definição de como controlar a poluição do ar na mineração é baseada na caracterização dos tipos de poluentes, fontes poluentes e estudos preliminares dos potenciais impactos dos poluentes atmosféricos no meio ambiente. (SILVA, 2010)

Os métodos de controle de poeira mais usados na mineração, são:

- Proteção natural e artificial;
- Instalação de cinturões vegetais;
- Aspersão de água;

Neste estudo, a aspersão de água será abordada pois é o método mais usado dentre todos.

3.5.1 Método de aspersão com água

A umidificação adequada das estradas de uma mina é extremamente importante para o controle de poeira. Umedecer o material particulado garante que as partículas de poeira sejam confinadas. Portanto, (mas nem sempre) é possível contar com o método de aspersão com de água para reduzir a poeira. (JANKOWSKI e ORGANISCAK, 1983) O caminhão pipa utiliza água não tratada, frequentemente, para este método de aspersão.

Cada mina tem suas particularidades, logo o custo deste método pode variar de acordo com o volume de trabalho, fluxo de tráfego, peso e quantidade de equipamentos, frequência de detonação e muitos outros fatores. Cabe a cada

mineradora realizar um estudo sobre o custo que o método de aspersão vai gerar. Atualmente abordagens inovadoras como o uso de polímeros, estão ganhando espaço no mercado pela sua eficiência, economia e sustentabilidade. Dada a enorme economia de água (um bem raro e sujeito a escassez) que pode ser alcançada por meio do uso de polímeros. (NAZARENO *et al.* 2018) A Figura 10 mostra um caminhão pipa umedecendo uma via de acesso.

Figura 10 - Caminhão pipa umedecendo vias de acesso



Fonte: Earth Alive (2022)

3.5.2 Método de aspersão com polímero

A palavra polímero vem do grego poly, que significa "muitos", e meros, que significa "parte". Isso porque as macromoléculas desses compostos são formadas pela união de várias unidades de moléculas muito pequenas chamadas monômeros. (FOGAÇA, 2016) Inicialmente os polímeros eram utilizados no transporte ferroviário e nas pilhas de minério armazenadas, o polímero se prendia à superfície do material particulado e o impedia que fosse transportado para o ar atmosférico pela ação do vento. O polímero agora também é usado para contenção de poeira em operações de minas, principalmente em países, como Canadá e Austrália, e estudos mostraram que ele é altamente benéfico em quase todos os aspectos. (NAZARENO *et al.* 2018)

Na sociedade atual, o uso de polímeros está crescendo cada vez mais, não só pelo seu baixo custo, mas também pela sua contínua evolução na funcionalidade.

Suas propriedades físicas e químicas o tornam tecnicamente atraente. Os polímeros se degradam por vários mecanismos, mas essa degradação pode ser gradual ou rápida. Em especial, os polímeros formados a partir de hidrocarbonetos que são resistentes ao ataque químico e biológico, garantindo assim a longevidade dos microrganismos. (FECHINE, 2017)

Ao se fazer uma comparação com os métodos de arpesão que utilizam apenas água, os polímeros apresentam maior eficiência no controle de poeira.

3.5.3 Polímero “supressor natural “

De acordo com Piechota *et al.*, (2004) existem muitos produtos usados para supressão de poeira e a maioria dos produtos usados pode ser agrupada em algumas categorias: água, sal/salmoura, não-petróleo orgânico, petróleo orgânico ou produtos químicos inorgânicos. Novas matérias-primas e tecnologias nos processos de fabricação de polímeros foram testadas para criar novos produtos que não agridem o meio ambiente. (MAFAVISSE, 2018)

Buscando novas tecnologias que reduzissem o consumo da água na mina da Anglo American em conceição do mato dentro, realizou o teste de um supressor natural biológico para controle de poeira em um trecho de um dos acessos da mina. Este teste é o foco central deste estudo.

3.5.4 Especificação do supressor biológico

A tecnologia testada nos acessos da mina da Anglo American foi um polímero biológico que pertence a empresa Earth Alive, chamado de ea1. O polímero utiliza uma tecnologia microbiana, que através de processos metabólicos dos microrganismos tem um efeito biossurfactante. Esse efeito cria uma superfície sólida que evita a formação de poeira e ajuda a estabilidade do solo. É um polímero 100% orgânico e biodegradável, com níveis satisfatórios de eco toxicidade. (EARTH ALIVE, 2022) A figura 11 mostra o funcionamento básico do ea1.

Figura 11. Funcionamento básico do ea1



Fonte: Earth Alive (2022)

3.5.5 Vantagens do supressor biológico

De acordo com a Earth Alive (2022), empresa responsável pelo produto ea1, alguns dos benefícios que podem ser adquiridos com o uso do polímero biológico são:

- Estradas com alta estabilidade: permeabilidade do solo, aumento da capacidade de resistência, estradas não pavimentadas requerem menos nivelamento.
- Alta eficiência operacional: 95% de controle de poeira até mesmo para as menores partículas.
- Sustentável: 100 % biodegradável, não tem efeito ecotóxico e não é corrosivo.
- Até 14 dias sem necessidade de aplicar água nem o supressor. Reduzindo assim o consumo de água.
- Eficaz em diferentes tipos de solos.
- Aumenta a aderência da estrada.

4 METODOLOGIA

4.1 Parametros da realização do teste

Earth Alive (2022) juntamente com a Anglo American definiram os seguintes parametros para começar a realização do teste.

- Área do projeto para aplicação do polímero: 850 m x 25 m (21.250 m²)
- Volume: 149,000 Litros.
- Dias entre as aplicações (dependendo da pista) = 3 a 5 dias.
- A estrada do teste é composta por 2 pistas de 16,4 m de largura cada, separadas por uma leira central.

A Figura 12 mostra a área de aplicação do polímero na Anglo American.

Figura 12. Área de aplicação do polímero



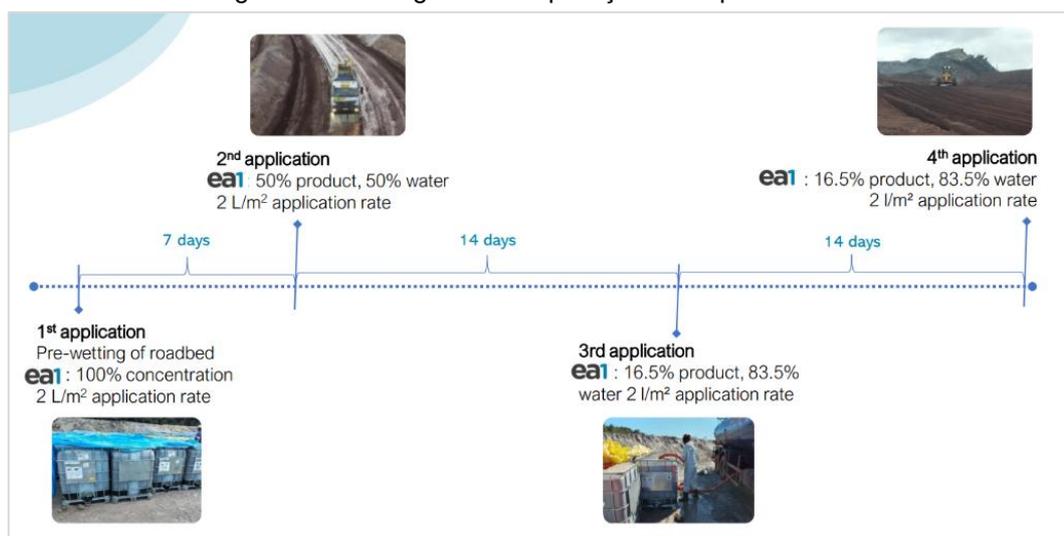
Fonte: Earth Alive (2022)

Para comparação de resultados, foi escolhida também uma área adjacente sem tratar com o polímero ea1, para medição da emissão de material particulado. Essa área se encontra na mesma via de acesso, ou seja, qualquer equipamento que passar pela área de teste com o supressor também passará pela área não tratada escolhida. Nessa área é usado apenas água como método de supressão de poeira. (EARTH ALIVE,2022)

4.2 Protocolo para aplicações do polímero biológico

Earth Alive (2022) elaborou o seguinte protocolo para a aplicação do polímero pode ser dividido em etapas. Essas etapas são mostradas na Figura 13. E posteriormente explicadas passo a passo.

Figura 13. Cronograma de aplicação do supressor ea1.



Fonte: Earth Alive (2022)

A primeira etapa se deu selecionando a área em que será realizado o teste.

A segunda etapa foi a preparação da estrada para a aplicação do produto de acordo com as instruções da Earth Alive. Foi utilizado uma motoniveladora para fazer regularização da pista eliminando saliências e depressões da pista, para obter um solo mais uniforme. A superfície deve ser molhada com água antes da aplicação, cerca de 1L/m², pois facilita uma penetração uniforme do produto. Só é necessário a umidificação da via antes da primeira aplicação. Cerca de 30 minutos após a umidificação da via, o produto poderá ser aplicado. A aplicação do polímero se dá com um caminhão pipa com uma barra adaptada com bicos distribuídos para que se possa aplicar o produto proporcionalmente ao longo da estrada. A taxa de aplicação do polímero foi definida como sendo 2L/m². Sendo assim a velocidade dos caminhões foi ajustada para obter essa taxa, chegando a velocidade de aproximadamente 10Km/h. Foi utilizado, sempre a mesma taxa em todas as aplicações. O que difere cada aplicação do supressor é a concentração do produto utilizada. Para a primeira aplicação foi utilizada a concentração de 100% do produto e 0% de água. A cobertura

será em toda área de teste, 21.250 m², podendo somente retornar com o tráfego após 1 ou 2 horas depois da primeira aplicação, para fixar o produto no solo. Mas salienta-se que essa interrupção no tráfego é somente para a primeira aplicação, as demais não necessitam pois penetram rapidamente no solo. As Figuras 14 a 17 mostram o passo a passo da primeira aplicação realizada.

Figura 14. Técnico da Earth Alive ajustando a concentração do ea1



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 15. Caminhão pipa sendo abastecido com o ea1



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 16. Caminhão pipa com a barra adaptada para aplicação do polímero



Fonte: Earth Alive (2022)

Figura 17. Caminhão pipa com barra adaptada irrigando a pista com o ea1



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A segunda aplicação na área de teste, foi com uma concentração de 50% do produto e 50% de água, e deve acontecer entre 5 e 7 dias após a primeira aplicação. O método de aplicação é o mesmo utilizado na primeira aplicação, com o caminhão pipa com a barra adaptada e mesma velocidade. Não há necessidade de interromper o tráfego.

São realizadas aplicações de manutenção. Para a pista em que os caminhões estão carregados foi utilizada a concentração de 16,5% para 83,5% de água e aplicado a cada 3 – 5 dias. Já para a pista em que os caminhões passarão vazios foi usada a concentração de 8,5% para 91,5% de água e com intervalo de aplicação de 5 dias. Essas aplicações de manutenção são para manter uma boa quantidade de microrganismos ativos no solo. (EARTH ALIVE, 2022) A tabela 5 abaixo mostra cada tipo de aplicação com sua velocidade, concentração, tipo de pista e intervalo de aplicação.

Tabela 5. Protocolo de aplicações do polímero

Tipo de aplicação	Concentração	Velocidade	Intervalo de aplicação	Especificidade pista
1^a	100% produto, 0% água	10Km/h	—	Caminhão carregado, não carregado
2^a	50% água, 50% produto	10Km/h	5-7 dias após a 1 ^a	Caminhão carregado, não carregado
Manutenção	16,5%produto, 83,5% água	10Km/h	3-5 dias	Caminhão carregado
Manutenção	8,5% produto, 91,5% água	10Km/h	5 dias	Caminhão não carregado

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A terceira etapa se deu com o monitoramento da emissão de poeira.

A Earth Alive utiliza um dispositivo chamado de *DustTrak DRX 8533EP* que consiste em um fotômetro a laser que mede simultaneamente o tamanho e o volume das partículas totais MP1, MP2.5, MP4, MP10. O *DustTrak* é colocado na traseira de uma caminhonete com área de carga aberta. Após se instala a mangueira e coloca atrás da roda traseira. Com a caminhonete em movimento se registra os dados. O aparelho dá a opção de consultar os dados ao vivo pressionando dois botões, mas também é possível descarregar os dados no computador e analisar via excel. A fim de comparação de resultados, a medição será realizada na área de teste e na área

escolhida não tratada com ea1. A medição com o *DustTrak* foi feita duas vezes por dia nas duas vias, a com o produto e a não tratada, e durou 5 minutos cada com uma velocidade de 40 Km/h. As Figuras 18, 19 e 20 mostram o *DustTrak*. (EARTH ALIVE, 2022)

Figura 18. Técnico da Earth Alive instalando dispositivo de medição de poeira



Fonte: Earth Alive (2022)

Figura 19. Mangueira do *DustTrak* que é colocada na roda traseira da caminhonete



Fonte: Earth Alive (2022)

Figura 20. *DustTrak* na parte traseira de uma picape



Fonte: Earth Alive (2022)

Como protocolo também foram criadas estações de monitoramento de poeira. Essas estações são construídas com diferentes componentes que fornecem medição contínua de poeira por mais de 12 horas realizando filmagem da estrada,

contabilizando o tempo e coletando as condições climáticas. Esses dados são descarregados no computador e analisados. A Figura 21 e 22 mostram estações de monitoramento de poeira. (EARTH ALIVE, 2022)

Figura 21. Estação de monitoramento



Fonte: Earth Alive (2022)

Figura 22. Estação de monitoramento de poeira instalada na mina da Anglo American



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

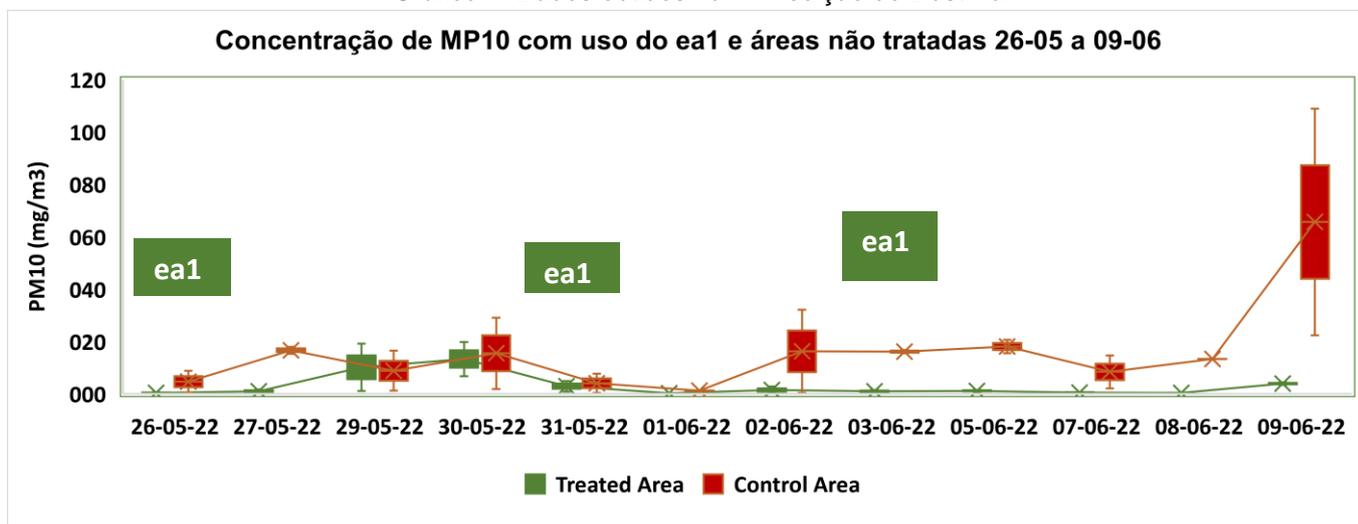
5.1 Dados obtidos pelo *DustTrak*

A partir da análise dos dados captados pelo dispositivo de medição de poeira, foi possível ter as concentrações de material particulado MP10, foram descarregados os dados para o computador e analisado através do Excel.

As primeiras medições foram realizadas do dia 26-05-2022 ao dia 09-06-2022. O gráfico 1 mostra os dados obtidos nesses primeiros 14 dias em um gráfico bloxplot, onde a cor verde representa os dados obtidos com o uso do polímero ea1, da empresa Earth Alive e os de cor vermelha os dados obtidos em uma área monitorada sem o uso do ea1. Foram realizadas aplicações do supressor de acordo com o planejamento realizado pela Earth Alive, incluindo as aplicações de manutenção. A partir da segunda aplicação (31-05) houve uma diminuição dos valores de concentração do MP10 nas áreas onde foram tratadas com ea1, chegando a níveis

inferiores que $001\text{mg}/\text{m}^3$, quase nulo. Já na área em que não foi usado o ea1 os níveis de MP10 ultrapassaram os $0060\text{ mg}/\text{m}^3$.

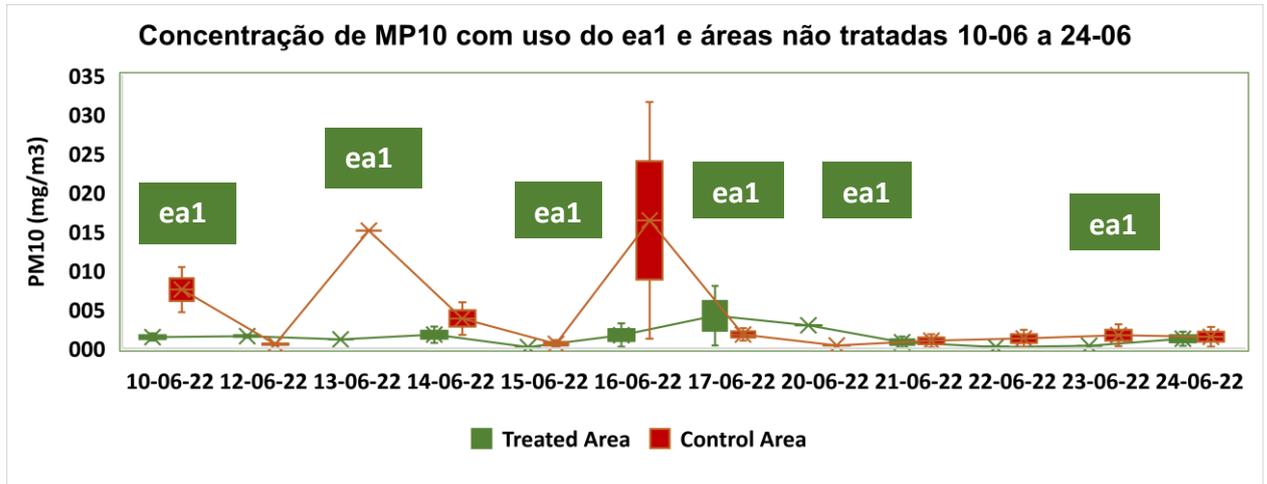
Gráfico 1. Dados obtidos na 1ª medição do DustTrak



Fonte: Earth Alive (2022)

Os dados obtidos na segunda medição se encontram no gráfico 2. A segunda medição aconteceu no intervalo do dia 10-06-2022 ao dia 24-10-2022. Aplicações de manutenção foram realizadas com intervalo máximo de 3 dias. As concentrações de MP10 na área em que foram usadas se mantiveram abaixo de $010\text{ mg}/\text{m}^3$ durante todo o intervalo de medição. Chegando a níveis inferiores que $0001\text{ mg}/\text{m}^3$. A área não tratada com ea1 apresentou medições acima de $015\text{ mg}/\text{m}^3$.

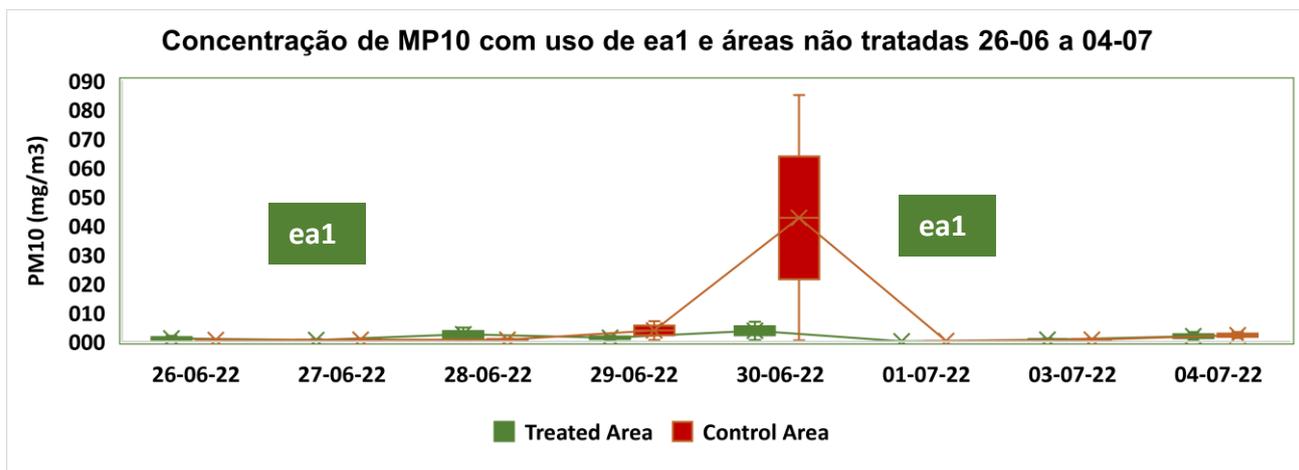
Gráfico 2. Dados obtidos na 2ª medição do DustTrak



Fonte: Earth Alive (2022)

A terceira e última medição obtida pelo *DustTrak* apresenta um maior intervalo de tempo entre duas aplicações de manutenção, sendo 5 dias. Os níveis de MP10 se mantiveram na faixa inferior de 001 mg/m³. O gráfico 3 retrata essas medições.

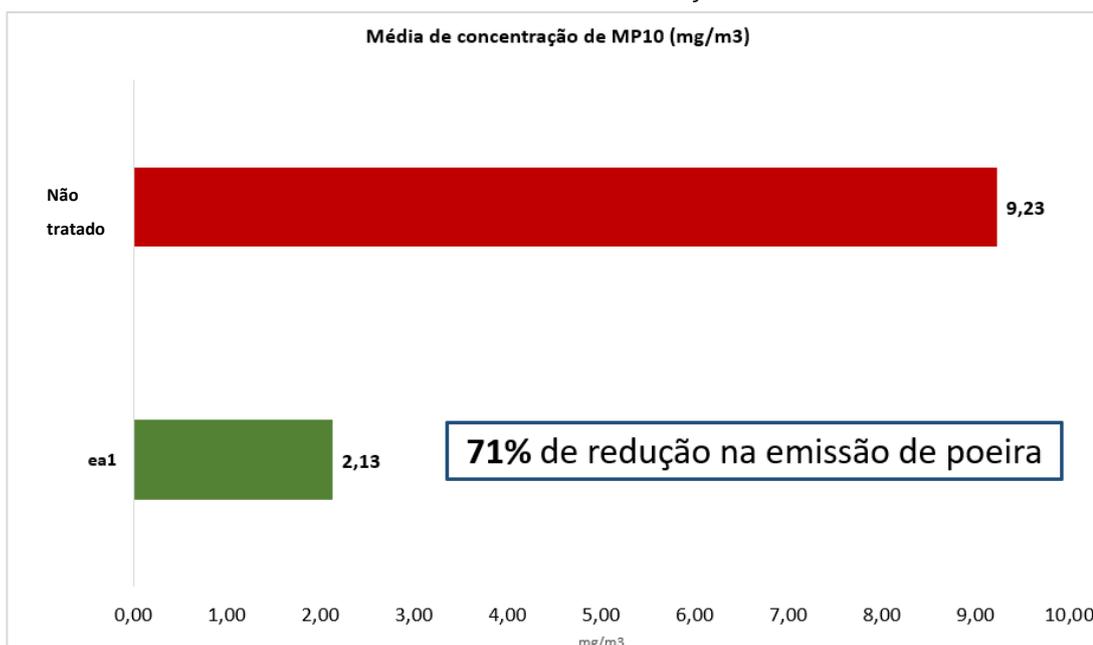
Gráfico 3. Dados obtidos na 3ª medição do DustTrak



Fonte: Earth Alive (2022)

Uma média dos valores coletados foi calculada para fazer a comparação da emissão de MP10 na área tratada por ea1 e na área escolhida sem tratar com o polímero. Os dados obtidos, demonstrados no gráfico 4, apresenta que na área que não foi tratada com ea1 se teve uma média de concentração de MP10 de 9,23 mg/m³, e na área que foi tratada com o ea1 a média de concentração de MP10 foi de 2,13 mg/m³. Portanto houve uma redução de 71 % na emissão de MP10.

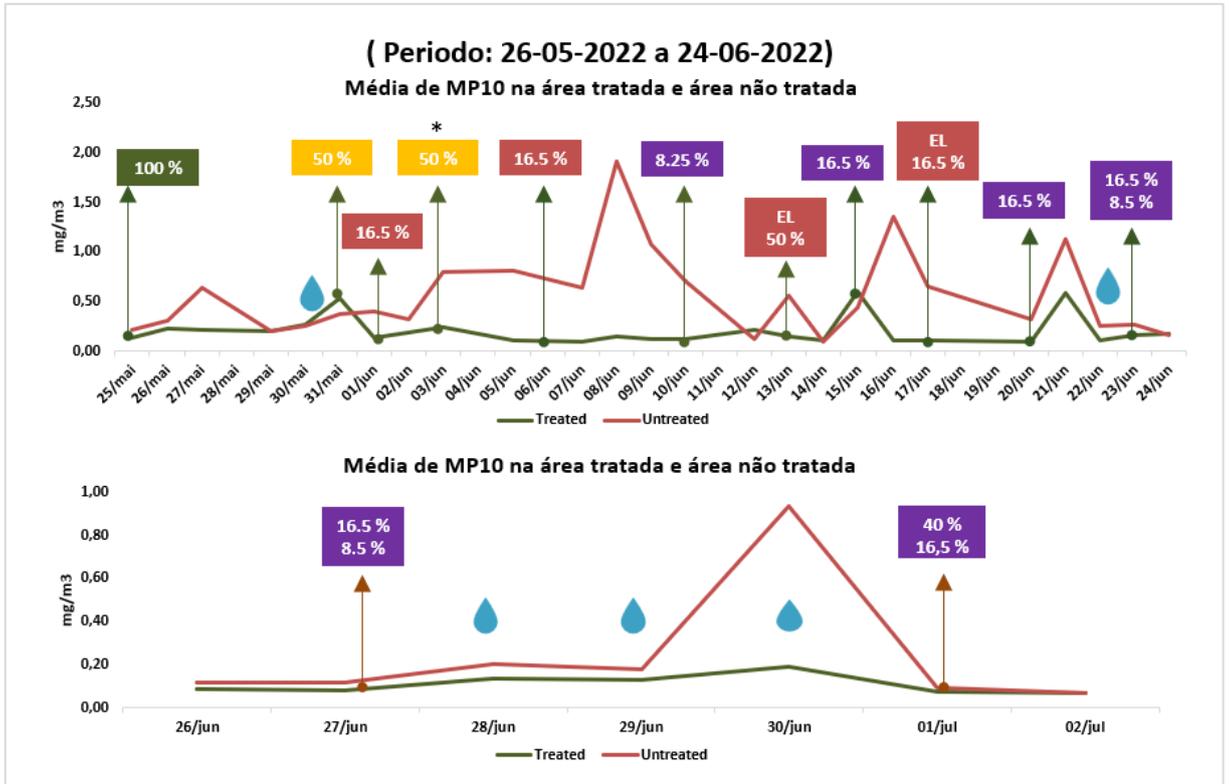
Gráfico 4. Média de concentração de MP10



5.2 Resultados obtidos nas estações de monitoramento

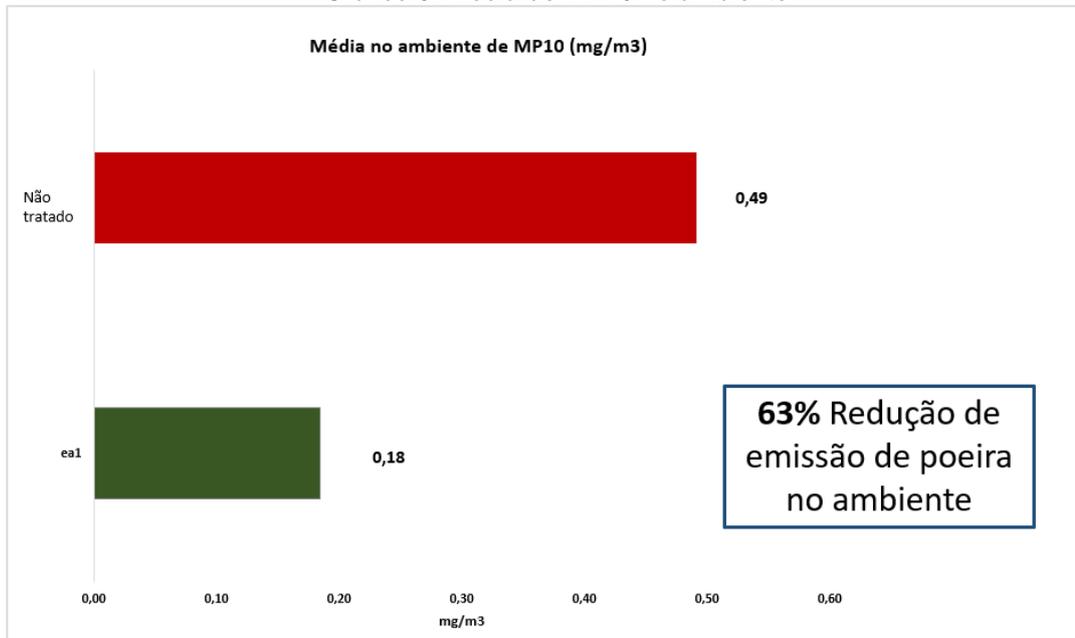
As estações de monitoramento forneceram dados que foram descarregados no computador e analisados. No gráfico 5 é mostrado a medição do intervalo do dia 25-05-2022 ao dia 02-07-2022. Assim como também cada concentração de ea1 que foi utilizada. Através desses dados também foi possível obter a média de concentração de MP10 no ambiente. A área não tratada teve uma média de 0,49 mg/m³, já a área tratada com o polímero teve uma média de 0,18 mg/m³. Assim em relação ao valor obtido na área não tratada, houve uma redução de 63% de emissão de poeira na área em que foi usado o ea1. O gráfico 6 indica essa informação.

Gráfico 5. Média de MP10 no ambiente em áreas tratadas e não tratadas.



Fonte: Earth Alive (2022)

Gráfico 6. Média de MP10 no ambiente

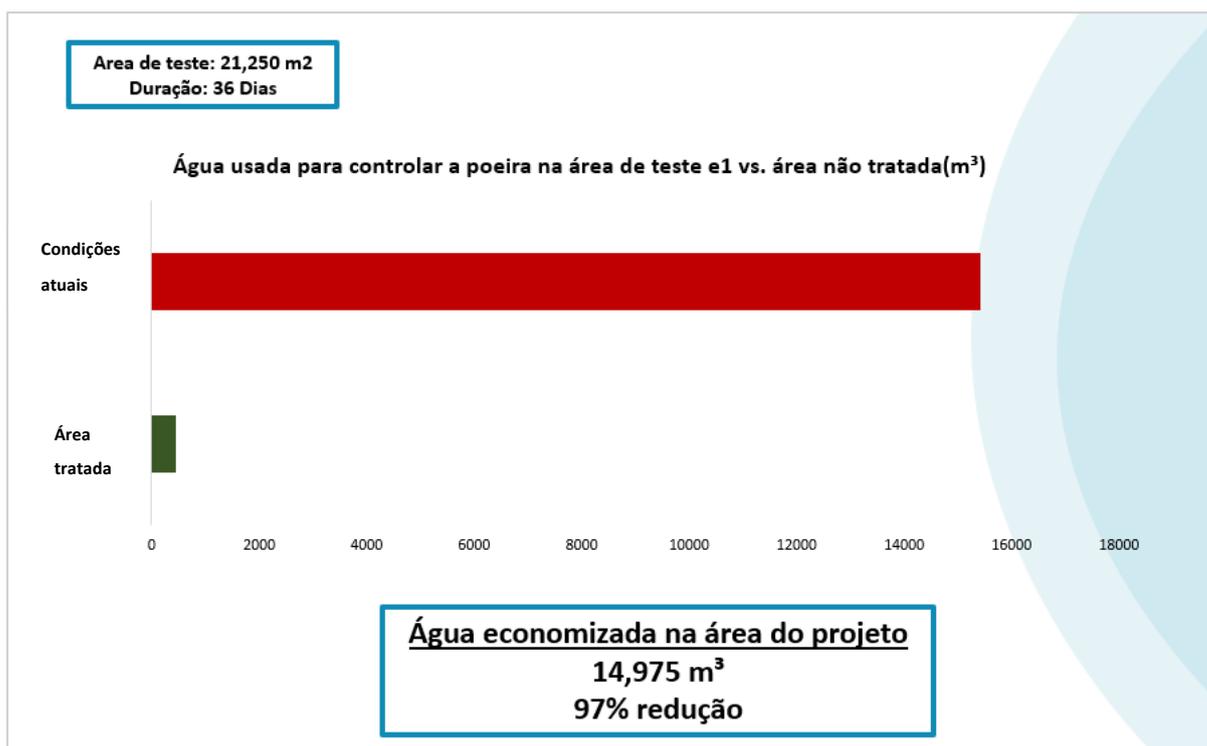


Fonte: Earth Alive (2022)

5.3 Resultados da eficiência hídrica

Durante 36 dias foi monitorada a quantidade de água utilizada na área não tratada e na área tratada com o supressor. Em uma área de 21,250 m², que foi a área tratada, usou-se apenas 447 m³ para 15.422 m³ utilizados na área não tratada. Portanto aconteceu uma redução de 97% no consumo da água, economizando assim 14,975 m³ de água no controle de poeira na área do projeto. Essa redução se deu ao fato de que não precisa usar água para umedecer as vias. Apenas na primeira aplicação do polímero. Já na área não tratada a aspersão com água era o único método de supressão de poeira. O gráfico 7 mostra a comparação entre o uso da água nas duas áreas.

Gráfico 7. Comparação entre a água usada na área de teste e área não tratada



Fonte: Earth Alive (2022)

5.4 Elementos que afetaram o resultado dos testes realizados

De acordo com Earth Alive (2022) vários elementos afetaram os resultados em relação ao planejado originalmente. Um desses elementos foi a estrutura instável onde foi realizado o teste com o ea1. A estrutura da via de acesso é com um material grosseiro de solos arenosos o que causa uma diminuição da capacidade de carga e faz com que seja necessário realizar a manutenção dessas vias de acessos várias vezes ao dia, com isso acabou afetando os resultados do ea1 pois o produto foi frequentemente removido fisicamente da estrada. Não permitindo aplicações consistentes a cada 5 dias. Mesmo com essas interferências, o teste continuou sendo realizado pois apesar de não atingir o valor de 95% de redução na emissão de poeira, poderia trazer resultados significativos nessa redução, sendo viável mesmo com esses elementos que afetaram a realização do teste.

Também foi considerado revelante como um desafio as diferentes concentrações que deveriam ser utilizadas na pista em que o caminhão passaria carregado e na pista em que passaria vazio. E por último a grande quantidade de poeira fugitiva de caminhões de transporte e áreas vizinhas aumentou as concentrações de poeira na área do projeto. (EARTH ALIVE,2022)

6 CONCLUSÕES

No mercado de mineração atual, as mineradoras cada vez mais buscam soluções alternativas para mitigar o impacto ambiental de suas operações, especialmente para as mais prejudiciais a saúde de seus funcionários e colaboradores. A emissão de material particulado dificulta as operações mineiras e pode ser a causa de diversas doenças respiratórias dos trabalhadores e pessoas próximas às atividades da mina. Além de causar danos a vegetação, fauna e materiais. O uso do método de supressão de poeira através de um polímero bacteriano pode ser considerado uma alternativa eficaz e sustentável para reduzir a emissão de particulados.

O uso do supressor de poeira bacteriano se mostrou efetivo no controle de emissão de material particulado. Pois reduziu em até 77% a emissão de MP10 na área

tratada. O teste realizado também mostrou que o polímero ea1 pode ser uma alternativa eficaz para a redução de consumo da água das atividades de supressão da poeira emitida nos acessos. A Anglo American pode usar o supressor ea1 como uma alternativa para atingir suas metas de sustentabilidade hídrica até 2030 pois os testes deram resultados positivos em relação ao consumo de água doce, que diminuiu em até 97% o consumo de água na operação de controlar a emissão de material particulado.

7 PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

No presente trabalho, os aspectos mencionados abaixo não foram abordados, mas esses tópicos podem ser abordados em trabalhos futuros. São eles:

- Estudos que utilizem parâmetros como o tipo de minério que é transportado na pista em que se utiliza o polímero.
- Estudos que visam a relação dos greides das pistas com a emissão de poeira e o uso do polímero.
- Estudos que utilizam os dados pluviométricos para o uso do polímero.
- Estudos que explicam o funcionamento dos bicos de jateamento do produto.
- Análises de custos de operação que a redução causada pelo uso do polímero pode oferecer.

8 REFERÊNCIAS

ANGLO AMERICAN. **Meio ambiente – Anglo American Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/sustentabilidade/meio-ambiente>>. Acesso em: 9 nov. 2022.

ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194 f. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31012002-170628/en.php> > Acesso em: 09 nov. 2022.

ASSUNÇÃO, J. V. Poluição atmosférica. In: CASTELLANO, E. G., Ed. **Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias**. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. P. 217-308.

BRAILE, V. V. *et. al.* **Poluição do ar causada pela operação de pedreiras no município do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, v. 7, n. 27, p. 204-18, jul./set. 1979

BECKER, L. C; PEREIRA D. D. C. **O Projeto Minas-Rio e o desafio do desenvolvimento territorial integrado e sustentado: a grande mina em Conceição do Mato Dentro**. Recursos minerais & sustentabilidade territorial. v.1, CETEM/MCTU, 2011. Disponível em: <mineralis.cetrem.gov.br/bitstream/cetem/1169/1/O%20Projeto%20Minas%20Rio.pdf> Acesso em: 19 Nov. 2022.

BRITO, P. H. F. de; ARAÚJO, R. dos S.; MARINHO, G. **Composição química do material particulado atmosférico: uma revisão de literatura**. HOLOS, [S. l.], v. 4,

p. 62–74, 2018. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4648>. Acesso em: 09 out. 2022.

CETESB. **Qualidade do ar**. 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/>>. Acesso em: 30 out. 2022.

CHENG L., ZUKOVICH P. P. **Respirable dust adhering to run-of-face bituminous coals**. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, RI 7765. NTIS no. 1973, PB 221- 883.

CICHOSKI; SOUZA; BIESDORF. **Determinação da concentração de material particulado no ambiente da pedreira Municipal de Santa Helena**. Paraná, 2009. Disponível em:<<http://www3.izabelahendrix.edu.br/ojs/index.php/ptr/article/view/970>> Acesso em: 11 nov. 2022.

CODEMIG. Portal da Geologia – Download de Mapa e Relatório Folha Serro, formato pdf, em < <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acesso em: 09 nov. 2022

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018**. padrões de qualidade do ar. [S. l.], 19 nov. 2018 Disponível em: < conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=766> Acesso em: 25 nov. 2022.

CRISTOVIC, M. A. **Investigation to control mine dust using surfactants and a new approach for eliminating their negative effect on flotation**. Minerals & metallurgical processing, 1991, vol. 8, 38-42.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Pernambuco. **Normas Reguladoras de Mineração (NRM)**. Disponível em: <http://www.dnmpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_00.php>. Acesso em: 09 nov. 2022.

EARTH ALIVE. **Relatório interno de resultados do uso de ea1 Minas-Rio**, 2022.

EYRE, N. J.; OZDEMIROGLU, E.; PEARCE, D. W. e STEELE, P., 1997, "**Fuel and Location Effects on the Damage Costs of Transport Emissions**", Journal of Transport Economics and Policy, (Jan), pp.5-24.

FECHINE, G. J. J. F. **A era dos polímeros biodegradáveis**. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/sms/files/file/eventos/forum_ensino_superior_2017/palestra_guilhermino_fechine_mackenzie.pdf> Acesso em: 10 Nov. 2022.

FERNANDES, J. S., CARVALHO, A. M., CAMPOS, J. F., COSTA, L. O., FILHO, G. B. **Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana**. Revista Médica de Minas Gerais, v. 20, p. 92-101; 2010.

FERREIRA, R. G. R. **Programa de Geometalurgia do Minas Rio - Anglo American:Primeiras análises**. 2018. 43 f. Monografia – (Graduação em Engenharia de Minas), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

FOGAÇA, J. **O que são os polímeros**. Manual da Química. 2016. Disponível em:<<https://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-organica/o-que-sao-os-polimeros.htm>> Acesso em 09 nov. 2022.

G1. **Imagens do dia - 6 de fevereiro de 2012**. 2012. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/fotos/2012/02/imagens-do-dia-6-de-fevereiro-de-2012.html#F359792>>. Acesso em: 5 nov. 2022.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. **Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão**. Revista Virtual de Química, v. 3, 2011.

GOELZER, B. I. F. **Introdução à Tecnologia de controle em saúde ocupacional**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE EXPOSIÇÃO À SÍLICA. Curso de

prevenção e controle de risco/poeiras, 2000. Curitiba: [s.n.], 2000

HORTA, S. L. L. [2016]. **Aspersão Fixa: tecnologia eficiente gera redução de custos no controle de poeira**. Revista Minérios e Minerale. Disponível em: <<http://revistaminerios.com.br/aspersao-fixa-tecnologia-eficiente-gera-reducao-de-custos-no-controle-de-poeira/>> Acesso em 09 nov. 2022.

INFOSEG. **Os efeitos do pó no pulmão**. Ed. 12. (2007)

JANKWOSKI, R. A.; ORGANISCAK, J. A. **Dust sources and controls on the six U.S. longwall faces having the most difficulty complying with dust standards**. Pittsburgh, P.A.: U.S. Department of the Interior, IC 8957.NTIS No. PB84-142058, 1983.

JÚNIOR, T. A. F. J.; ARAÚJO, V. A. A.; DODE, A. C. D. **Redução na emissão de material particulado na mineração gerado pela movimentação de caminhões na Mina de Capão Xavier, Nova Lima, Minas Gerais**. Revista Petra. ISSN: 2359-5302,2016. Disponível em: <<http://www3.izabelahendrix.edu.br/ojs/index.php/ptr/article/view/970/800>> Acesso em: 09 nov. 2022.

JUNIOR, R. M. D. S. **Procedimentos experimentais para avaliação da emissão de poeira em manuseio de minério**. 2021. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Pará. 2021.

KAMP, M., CASTANAS, E. **Human health effects of air pollution**. *Environmental Pollution*, v. 151, p. 362-367, 2008. Disponível em: <<https://www.osti.gov/biblio/5200728>> Acesso em: 12 nov. 2022.

MAFAVISSE, I. M; **Mapeamento e estratégia de controle de cargas antrópicas potencialmente poluidoras da mineração de carvão de Moatize, Moçambique**. Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista “Filho de mesquita”, Sorocaba,

2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/154558>>.

Acesso em: 30 out. 2022.

MOORE, P. **Anglo American consolidates two Minas-Rio data centres in Brazil with Dell hyperconvergence structure**. IM international mining. 27 jan. 2021. Disponível em: <<https://im-mining.com/2021/01/27/anglo-american-consolidates-two-minas-rio-data-centres-brazil-dell-hyperconvergence-structure/>>. Acesso em: 27 out. 2022.

NAZARENO, G.C. et al. **Estudo de caso – Poeira nas operações de mina: Alta eficiência no controle de particuladoa através do uso de supressor natural.** Observatorio de la Economía Latinoamericana, out. 2018. Disponível em:<<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/control-particulado-supresornatural.html> > Acesso em: 26 out. 2022.

OECD - **Organization for Economic Co-operation and Development**. OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. OECD: 2011. Disponível em:< [기후대기정책과_11.24기후변화챕터full_text_2011.11.24.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/11/24/49781221.pdf) (pa.go.kr)> Acesso em: 09 nov. 2022.

PIECHOTA, T, et al. 2004. **Potential environmental impacts of dust suppressants: Avoiding another times beach**. United States Environmental Protection Agency. Las Vegas, NV. 2004.

RAVEN. P. H.; BERG, L. R.; JOHNSON, G. B. **Environment**. Fort Worth, Saunders College Publishing, 1995. Disponível em < <https://sciarium.com/file/60980/>> Acesso em: 30 out. 2022.

ROSBURY, K. D.; ZIMMER, R. A. **Cost-effectiveness of dust controls used on unpaved haul roads**. Volume 1: Results, analysis, and conclusions. PEDCo Environmental, Inc. U.S. Bureau of Mines contract, Nº J0218021. NTIS Nº PB 86-

115201, 1983. Disponível em: <<https://www.osti.gov/biblio/6393972>> Acesso em: 09 nov. 2022.

RUGGIERI S.K.; JANKWOSKI, R. A. **Fundamental approaches to longwall dust control**. In: Proceedings of the Symposium on Control of Respirable Dust. Beckley, WV, Oct. 4-8, 1983.

SANTOS, Érica Aparecida Rocha. **Dimensionamento de frota semanal com detalhamento diário e a influência na aderência e cumprimento do plano de lavra**. 2022. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

SILVA, Jardel de Oliveira da. **Controle de material particulado nos acessos de mina a céu aberto**. 2010. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, 2010. Disponível em:<<http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/392>>. Acesso em:09 nov. 2022

SOUZA, P. A. de., MELLO, W. Z., MARIANI, R. L., SELLA, S. M. **Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP)**. Química Nova, v. 33, n. 6, p.1247-1253, 2010.

WILSON, W. E., SUH, H. H. **Fine and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies**. JAWMA, v47, p.1238-1249, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10473289.1997.10464074>> Acesso em: 09 nov. 2022.