CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMERO SUPRESSOR PARA CONTROLE DE POEIRA FUGITIVA EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS: *ESTUDO DE CASO NA MINA DE PEDRA PRETA, BRUMADO, BAHIA.*

LUIZA DE OLIVEIRA DONATIELLO

BELO HORIZONTE
2019

LUIZA DE OLIVEIRA DONATIELLO

BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMERO SUPRESSOR PARA CONTROLE DE POEIRA FUGITIVA EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS: *ESTUDO DE CASO NA MINA DE PEDRA PRETA, BRUMADO, BAHIA.*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Alves Pereira Wilken

Co-orientador: Ian Miranda Pieroni

BELO HORIZONTE

2019

LUIZA DE OLIVEIRA DONATIELLO

BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMERO PARA CONTROLE DE POEIRA FUGITIVA EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS: ESTUDO DE CASO NA MINA DE PEDRA PRETA, BRUMADO, BAHIA.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 10/12/2019

Banca Examinadora:

Adriana Alves Pereira Wilken – Presidente da Banca Examinadora
Profa. Doutora; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientadora.

Daniel Brianezi
Prof. Doutor; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Ian Miranda Pieroni
Especialista; RHI Magnesita.

Donatiello, Luiza de Oliveira.

S---

Benefícios da utilização de polímero supressor para controle de poeira fugitiva em vias não pavimentadas: Estudo de caso na Mina de Pedra Preta, Brumado, Bahia

/ Luiza de Oliveira Donatiello. - 2019.

45f. : il. ; --cm.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Alves Pereira Wilken

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerias, Engenharia Ambiental e Sanitária, 2019.

1. Supressor de poeira. 2. Custo benefício. 3. Emissões difusas. I. Wilken, Adriana Alves Pereira. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de

RESUMO

DONATIELLO, LUIZA DE OLIVEIRA. *Benefícios da utilização de polímero supressor para controle de poeira fugitiva em vias não pavimentadas: Estudo de caso na Mina de Pedra Preta, Brumado, Bahia.* 45f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Um motivo de grande preocupação da indústria da mineração é a poluição atmosférica do tipo difusa resultante do tráfego de veículos em vias não pavimentadas. Tal poluição tem efeitos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Uma forma de mitigação deste impacto estudada é a aplicação de polímeros supressores de poeira. Alguns benefícios da aplicação de polímeros são: a redução do custo de operação, menor consumo de recursos hídricos, menor emissão atmosférica de Material Particulado (MP) e diminuição do risco associado ao trabalho. No entanto, a aplicação desta técnica na mineração ainda é limitada, pois os custos financeiros e os ganhos ambientais devem ser dimensionados caso a caso. Até o momento, não há estudos que comprovem a eficiência do uso de polímeros em áreas onde o clima e a disponibilidade de água são fatores limitantes ao controle das emissões difusas de MP provenientes de vias não pavimentadas. Sendo assim, este trabalho tem como principal objetivo avaliar a viabilidade ambiental e econômica do uso de polímeros supressores para controle de emissões difusas de material particulado em vias não pavimentadas por meio de um estudo de caso na Mina de Pedra Preta, em Brumado, Bahia, onde a disponibilidade hídrica é limitada e o clima quente e seco favorece a evaporação rápida da água utilizada na mitigação do impacto ambiental. O estudo de caso avaliou quatro parâmetros: a concentração de Partículas Totais em Suspenção (PTS), o consumo de água, o custo de máquinas e mão de obra e o custo total do processo. Foram levantados dados históricos dos parâmetros junto à empresa e realizado um teste de campo com monitoramento de PTS juntamente à aplicação do supressor de poeira. Após o teste os dados foram comparados afim de se avaliar o custo benefício da tecnologia testada frente ao processo utilizado atualmente. A partir das avaliações chegou-se a uma redução de 82% na concentração de PTS, 67% no custo de máquinas e mão de obra, 72% no consumo de água e 9% no custo total do processo de umectação das vias não pavimentadas utilizando-se o supressor de poeira. Em suma, a eficiência do uso dos polímeros supressores de poeira no controle de emissões difusas de material particulado em vias não pavimentadas foi comprovada do ponto de vista ambiental e financeiro.

Palavras-Chave: Supressor de poeira; Emissões difusas; Recursos hídricos; Custo-benefício.

ABSTRACT

DONATIELLO, LUIZA DE OLIVEIRA. *The benefits of the polymers usage for the fugitive dust control on unpaved roads: Case Study at Pedra Preta Mine, Brumado, Bahia.* 45f. Monography (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

A major concern for the mining industry is the diffuse type air pollution resulting from vehicle traffic on unpaved roads. Such pollution has detrimental effects on the environment and human health. An approach used to mitigate this impact is the application of dust suppressing polymers. Some benefits of the application of polymers are: reduced cost of operation, lower consumption of water resources, lower atmospheric emissions of particulate matter (PM) and reduced risk associated with work. Nonetheless, the application of this technique in mining is still limited as financial costs and environmental gains must be scaled on a case by case basis. Thus far, there are no studies proving the efficiency of the usage of polymers in areas where climate and water availability are limiting factors for controlling diffuse PM emissions from unpaved roads. Hence, this thesis aims to evaluate the environmental and economic feasibility of using suppressor polymers to control diffuse particulate matter emissions on unpaved roads through a case study at the Pedra Preta Mine in Brumado, Bahia, Brazil, where the water availability is limited and the hot and dry climate favors the rapid evaporation of water used to mitigate environmental impact. The case study evaluated four parameters: concentration of Total Suspended Particles (TPS), water consumption, cost of machinery and labor, and the total process cost. Historical data of the parameters were collected from the company and a field test with TPS monitoring was performed along with the application of the dust suppressor. After the test the data was compared in order to evaluate the cost benefit of the technology tested against the process currently used. Based on the assessments, it was achieved a reduction of 82% in TPS concentration, 67% in the cost of machinery and labor, 72% in water consumption and 9% in the total cost of the unpaved road wetting process adopting the dust suppressor. In short, the efficiency of the usage of dust suppressing polymers to control diffuse emissions of particulate matter on unpaved roads has been proved, from an environmental and financial point of view.

Keywords: Dust Suppressor; Diffuse emissions; Water resources; Cost benefit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mina de Pedra Preta, Brumado/BA 29
Figura 2: Banco 800 da Mina de Pedra Preta onde foi realizado o teste com o polímero supressor de poeira 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar definidos pela Resolução CONAMA Nº 491/2018 para o poluente Partículas Totais em Suspensão 18

Tabela 2: Concentração de Partículas Totais em Suspensão medidas em dias de umectação das vias apenas com água..... 31

Tabela 3: Parâmetros que influenciam na qualidade do teste com o polímero supressor..... 32

Tabela 4: Concentração de Partículas Totais em Suspensão medidas em dias de umectação das vias apenas com água 34

Tabela 5: Concentração de Partículas Totais em Suspensão medidas nos dias de teste com o polímero supressor de poeira..... 34

Tabela 6: Concentração de Partículas Totais em Suspensão medidas nos períodos diurnos com e sem aplicação do polímero supressor..... 35

Tabela 7: Variáveis do parâmetro Consumo de água utilizada para umectação das vias não pavimentadas da Mina de Pedra Preta com e sem uso do supressor de poeira 36

Tabela 8: Custo de máquinas e mão de obra com e sem aplicação do supressor de poeira 37

Tabela 9: Custo total do processo de umectação das vias não pavimentadas utilizando apenas água..... 38

Tabela 10: Custos do processo de umectação das vias não pavimentadas utilizando polímero supressor de poeira 38

Tabela 11: Custos do processo de umectação das vias não pavimentadas utilizando apenas água e polímero supressor de poeira 39

Tabela 12: Parâmetros analisados no teste de viabilidade do supressor de poeira para umectação das vias não pavimentadas da Mina de Pedra Preta..... 40

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANM - Agência Nacional de Mineração

BA - Bahia

CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNT - Confederação Nacional do Transporte

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CTB - Código de Trânsito Brasileiro

DNPM - Departamento Nacional De Produção Mineral

EPA-US - Environmental Protection Agency

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MP - Material Particulado

NRM - Normas Reguladoras de Mineração

OMS - Organização Mundial de Saúde PIB

- Produto Interno Bruto

PMB - Produção Mineral Brasileira

ppm - Partes Por Milhão

PQAr - Parâmetros de Qualidade do Ar

PTS - Partículas Totais em Suspensão

SP - São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10
2. OBJETIVO 12
2.1. Objetivo geral 12
2.2. Objetivos específicos 12
3. REFERENCIAL TEÓRICO 13
3.1. Vias não pavimentadas 13
3.2. Poluição atmosférica 14
3.2.1. Parâmetros e padrões da qualidade do ar 16
3.2.2. Partículas Totais em Suspensão 17
3.2.3. Impactos da poluição atmosférica à saúde humana 18
3.3. Alternativas para controle da emissão de Material Particulado 19
3.3.1. Umectação com água 19
3.3.2. Uso de produtos supressores de poeira 20
3.4. A mineração no Brasil 25
3.5. Emissão de poeira fugitiva na mineração 25
4. METODOLOGIA 28
4.1. Caracterização do local de estudo 28
4.2. Levantamento de dados 29
4.3. Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão 31
4.4. Aplicação do polímero supressor 32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 34
5.1. Concentração de Partículas Totais em Suspensão 34
5.2. Consumo de água 35
5.3. Custo de máquinas e mão de obra 36
5.4. Custo total 37
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42

1. INTRODUÇÃO

Considerando-se os impactos ambientais negativos causados pelo setor da mineração, a poluição atmosférica é um dos de maior relevância ambiental. Alguns dos resultados desse tipo de degradação da qualidade do ar são a elevação dos níveis de partículas e gases, que podem ser prejudiciais à saúde dos trabalhadores locais e da comunidade ao redor do empreendimento, além de interferir no ecossistema local e regional.

As fontes emissoras de substâncias que causam degradação do ar atmosférico podem ser classificadas com base em diversos critérios. Essas fontes podem ser subdivididas entre fixas ou móveis. As fontes fixas de poluição atmosférica podem ser definidas como emissões lançadas à atmosfera a partir de um ponto específico, as quais podem ser exemplificadas pelas emissões ocasionadas por chaminés em indústrias. As fontes móveis, como o próprio nome indica, compreendem os casos em que a origem da poluição se encontra em movimento, como é o caso das emissões ocasionadas por veículos e aviões.

As fontes de poluição atmosférica também podem ser classificadas como pontuais ou difusas. As fontes difusas são também chamadas de não pontuais ou aleatórias. As chaminés, britadores e dutos são exemplos comuns de poluição do tipo pontual. As difusas são as que não têm um ponto específico ou preciso de lançamento, mas não necessariamente estão em movimento.

Uma das formas de poluição atmosférica do tipo móvel e difusa, que é motivo de grande preocupação da indústria de extração de minerais, é a emissão de Material Particulado (MP) resultante do tráfego de veículos em vias não pavimentadas. Estas emissões podem representar mais de 50% de todo MP emitido por atividades de mineração (QUEIROZ, 2015). Tais poluentes têm efeitos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana, como alteração dos parâmetros da qualidade do ar, irritação dos olhos e vias respiratórias e problemas respiratórios e cardiovasculares (ALMEIDA, 1999).

Dentre as técnicas de mitigação e controle desse tipo de emissão, as mais conhecidas são a umectação das vias com água ou soluções contendo produtos

supressores de poeira, como é o caso de alguns polímeros.

Alguns estudos, como o de Jones *et al.* (2013) evidenciaram os benefícios da aplicação de polímeros no controle das emissões difusas de material particulado em vias não pavimentadas. Redução do custo de operação, menor consumo de recursos hídricos, menor emissão atmosférica de MP e diminuição do risco associado ao trabalho são alguns desses benefícios. No entanto, a aplicação desta técnica na mineração ainda é limitada, pois os custos financeiros e os ganhos ambientais devem ser dimensionados caso a caso.

Na Mina de Pedra Preta, em Brumado, BA, a disponibilidade hídrica é limitada e o clima quente e seco favorece a evaporação rápida da água utilizada na mitigação do impacto ambiental em questão, o que acarreta um maior consumo do recurso natural. Até o momento, não há estudos que comprovem a eficiência do uso de polímeros em áreas similares à de Brumado, onde o clima e a disponibilidade de água são fatores limitantes ao controle das emissões difusas de MP provenientes de vias não pavimentadas.

Visto isso é importante salientar a importância de estudos como este para incentivar as iniciativas privadas a investirem em mais pesquisas sobre o tema, o qual tem grande relevância socioambiental e pode trazer reduções do custo operacional referente à mitigação dos impactos. Além da possibilidade de utilização da tecnologia em âmbito público, tendo em vista a grande malha de vias sem pavimentação no Brasil.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Avaliar a viabilidade ambiental e econômica do uso de polímeros supressores para controle de emissões difusas de partículas totais em suspensão em vias não pavimentadas.

2.2. Objetivos específicos

2.1.1. Verificar a eficácia do uso do polímero supressor de poeira na redução das concentrações de partículas totais em suspensão no ar atmosférico das vias não pavimentadas da Mina de Pedra Preta.

2.1.2. Estimar a redução no consumo de água no processo de umectação das vias da Mina de Pedra Preta devido à utilização do supressor.

2.1.3. Estimar o custo benefício do uso do polímero supressor de poeira na gestão financeira da empresa.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Vias não pavimentadas

A definição de “via” é dada pela Lei Nº 9.503/1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), e a identifica pelo fim a que se destina, sendo a “superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”. Na mesma lei, as vias não pavimentadas são identificadas como “estradas”. Podem também ser conhecidas como estradas vicinais, agrovias ou estradas rurais (BRASIL, 1997).

Esse tipo de pista pode ter diversas funções, dentre as quais se destaca a ligação entre propriedades rurais, acesso a vias principais, movimentação de pessoas e equipamentos, etc. Sua principal característica é a ausência de revestimento, sendo a superfície composta por materiais locais conformados. A composição do solo pode afetar diretamente na qualidade da estrada, bem como na visibilidade por ela proporcionada. Quando há proporção adequada de material ligante, as vias são mais estáveis e apresentam menor desagregação de material. Por outro lado, quando muito seco, o solo pode apresentar excessiva dispersão de poeira (ANA, 2016).

As estradas não pavimentadas são parte integrante e estratégica da rede nacional de estradas e podem cumprir seus propósitos por muitos anos quando sua construção e manutenção são adequadas. A relevância dos estudos relacionados às vias não pavimentadas, no Brasil, está diretamente ligada à importância delas para o escoamento da produção agrícola. As vias não pavimentadas são comuns em locais de difícil acesso, além de serem construídas quando da abertura de minas, cuja vida útil é limitada e os acessos temporários. De acordo com o Anuário Confederação Nacional do Transporte (CNT) de 2018, 1.349.938,5 km da malha rodoviária brasileira é composta por vias não pavimentadas. Esse total corresponde a mais de 78% de toda a malha viária nacional. Ainda de acordo com o relatório, as regiões Sudeste e Nordeste são as que apresentam maior quilometragem de estradas nessa situação (CNT, 2018).

É válido reforçar que diferentes tipos de estradas requerem diferentes abordagens no que diz respeito à sua gestão, manutenção e controle. Cada local

apresenta especificidades em termos de tipos de solo da superfície, clima, topografia, disponibilidade de cursos d'água e de uso agregados e aditivos químicos, demandas de população, tráfego, equipamentos usados nos deslocamentos, etc.

As vias não pavimentadas são entendidas como uma importante fonte de emissão de particulados atmosféricos, a qual resulta do desgaste da superfície da estrada e são suspensos devido à turbulência induzida pelo tráfego.

Assim como afirma Jones *et al.* (2013), o pó das estradas e os produtos químicos usados em seu controle representam desafios de engenharia, saúde, segurança e meio ambiente, mas também econômicos e regulatórios. Tais desafios precisam ser identificados, compreendidos, estudados e superados para que os tratamentos de controle de poeira sejam usados adequadamente de acordo com cada contexto.

As emissões de poeiras fugitivas geradas mecanicamente ou pela ação do vento apresentam um alto grau de variabilidade de um local para outro, e as emissões em qualquer local tendem a flutuar também ao longo do tempo. As características do local que causam essas variações, em geral, estão relacionadas às propriedades do material da superfície exposta e medidas de energia gastas por equipamentos ou pelo vento, os quais interagem com a superfície. Além disso, as emissões de poeira de uma determinada via não pavimentada varia linearmente com o volume de tráfego (COUNTESS ENVIRONMENTAL, 2004).

3.2. Poluição atmosférica

A atmosfera, em seu estado natural, é caracterizada por uma mistura de gases cujas concentrações, mesmo com o passar do tempo, as mudanças climáticas são relativamente constantes. Esse equilíbrio relativo é afetado pelas atividades humanas através da inserção de substâncias, partículas, gases ou energia que causem perturbação da qualidade do ar e, assim, cria-se um cenário de poluição atmosférica.

A qualidade do ar é o produto da influência mútua de vários fatores de complexo domínio, como por exemplo, a magnitude das emissões atmosféricas, a topografia e as condições climáticas da região, que podem afetar positiva ou negativamente (MMA, 2018).

A emissão de altas concentrações de gases poluentes ou partículas inaláveis são classificadas como poluição atmosférica. Os poluentes atmosféricos são, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 491/2018:

> "qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade" (BRASIL, 2018).

Na literatura, existem diversas classificações para poluentes atmosféricos. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) eles são, em geral, classificados como primários ou secundários. Poluentes primários são aqueles emitidos diretamente das fontes para a atmosfera, tal como é o caso do material particulado, poeiras fugitivas, monóxido e dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, entre outros. Os poluentes secundários são aqueles provenientes de reações que ocorrem entre um poluente e constituintes naturais da atmosfera como, por exemplo, quando ocorre a formação de ozônio na troposfera, devido à decomposição de óxidos de nitrogênio.

Os poluentes atmosféricos também podem ser classificados em relação ao estado físico em que se apresentam, podendo ser divididos em dois grandes grupos: material particulado e gases e vapores (ASSUNÇÃO, 1998). Ainda de acordo com o autor, os mesmos podem ser classificados, também, com base na classe química que pertencem, dividindo-se em poluentes orgânicos ou inorgânicos. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (Environmental Protection Agency – EPA-US), os efeitos ambientais decorrentes da poluição atmosférica, em especial aqueles causados pela emissão de material particulado, podem incluir a redução da visibilidade e intensidade da radiação solar, dependendo da composição química das partículas. Também podem intensificar a acidez da chuva, rios e lagos, alterar o balanço de nutrientes em solos e ambientes aquáticos, danificar culturas agrícolas, afetar a biodiversidade, etc (EPA, 2018).

A avaliação da poluição atmosférica e da qualidade do ar está intimamente relacionada com alguns fatores climáticos. Por isso, examiná-los nos locais específicos de estudo é importante, pois podem influenciar os padrões de suspensão ou dispersão

de materiais e poluentes. Torres e Martins (2005) afirmam que a dispersão e a concentração de um poluente na atmosfera dependem das condições meteorológicas, em especial ao gradiente de temperatura (componente vertical) e os ventos (componente horizontal).

3.2.1. Parâmetros e padrões da qualidade do ar

Os Parâmetros de Qualidade do Ar (PQAr) regulamentados pela Resolução CONAMA Nº 491/2018 são: Partículas Totais em Suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e chumbo.

Isso significa que, para definir a qualidade do ar de um determinado local, é necessário avaliar esses indicadores e, com base em alguns critérios, definir se estão dentro do aceitável ou não.

É importante reforçar que, em 2005, a Organização Mundial de Saúde (OMS), com objetivo de promover maior segurança e saúde da população, publicou documento que continha uma revisão dos valores guia para os poluentes atmosféricos. Ainda de acordo com a publicação, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem levar em consideração as especificidades locais, as quais resultam em diferenças de parâmetros e padrões a serem analisados em cada caso (CETESB, 2019).

De acordo com definição dada pela Resolução CONAMA Nº 491/2018, que considera como referência os valores de qualidade do ar e critérios de implementação recomendados pela OMS em 2005, tem-se que os padrões de qualidade do ar são instrumentos de gestão da qualidade do ar. Nesse dispositivo legal, o padrão é determinado como “valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um 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”.

Desde a publicação da Resolução Conama Nº 491/2018, os padrões de qualidade do ar podem ser divididos em duas categorias:

I - Padrões de qualidade do ar Intermediários: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas.

II - Padrão de qualidade do ar Final: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005.

Dentre os PQAr regulamentados por lei, a Resolução CONAMA Nº 491/2018 também define que para o poluente PTS deverá ser adotado o padrão de qualidade do ar final.

No Anexo I da referida resolução são apresentados os PQAr, definidos com base nas novas definições de categoria.

3.2.2. Partículas Totais em Suspensão

A definição de PTS é estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na Norma Brasileira Nº 9547 de 30 de outubro de 1997, como material particulado em suspensão que possui diâmetro de até 50 micrômetros (ABNT, 1997).

A redação dada pela Resolução CONAMA Nº 491/2018 define que PTS são "partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros (μm)" e não devem ultrapassar a concentração de 240 μg/m³ em um período de 24 horas ou uma concentração média geométrica anual de 80 μg/m³, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar definidos pela Resolução CONAMA Nº 491/2018 para o poluente Partículas Totais em Suspensão.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	Parâmetro Final (μg/m³)
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	240
	Anual**	80
*média geométrica anual		

Fonte: Resolução CONAMA Nº 491/2018 (Adaptado).

As partículas sólidas e líquidas que podem ser encontradas no ar como a poeira, fuligem, partículas de óleo, entre outras, são capazes de permanecer em suspensão por longos períodos e constituem o material particulado ou PTS (COSTA *et al*, 2009). Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão.

Atualmente, as PTS são consideradas como parâmetros auxiliares para determinação da qualidade do ar, permanecendo a critério do órgão ambiental competente a sua medição e controle em situações específicas (CONAMA, 2018).

3.2.3. Impactos da poluição atmosférica à saúde humana

A poluição atmosférica é tal como a própria definição legal identifica, um fator que influencia a saúde humana. O impacto, entretanto, depende de uma série de fatores como a intensidade, tipo de poluente, características do indivíduo, tempo de exposição e condições climáticas.

É comum que os efeitos da má qualidade do ar não sejam tão visíveis quanto outros fatores que influenciam a saúde humana. De acordo com o MMA, estudos epidemiológicos têm mostrado a existência de correlações entre exposição a poluentes atmosféricos e os efeitos de morbidade e mortalidade, causados, principalmente, por problemas respiratórios e cardiovasculares decorrentes da poluição do ar.

Almeida (1999) acrescenta, ainda, que os efeitos podem ir de desconforto até a morte, podendo incluir efeitos como irritação dos olhos e vias respiratórias, dores de cabeça, agravamento de doenças como asma, bronquite, entre outros.

Grande parte da preocupação relacionada aos impactos dos poluentes atmosféricos na saúde humana está direcionada aos grupos considerados de alto risco, por apresentarem saúde mais vulnerável, como é o caso de crianças e idosos (COSTA et al, 2009).

Considerando o foco em materiais particulados, há uma relação direta entre o tamanho da partícula e seu potencial para causar efeitos na saúde. Quanto menores seus diâmetros, mais profundamente podem penetrar nas vias respiratórias, podendo atingir, inclusive, a corrente sanguínea. De acordo com a EPA – US (2018), vários estudos científicos vincularam a exposição ao particulado a uma grande quantidade de

problemas de saúde, como morte prematura em pessoas com doença cardíaca ou pulmonar, ataques cardíacos não fatais, arritmia cardíaca, asma agravada, função pulmonar diminuída e aumento de sintomas respiratórios como irritação das vias aéreas, tosse ou dificuldade em respirar.

No que se refere ao material particulado proveniente do transporte em vias não pavimentadas, a preocupação está relacionada à saúde da comunidade do entorno e trabalhadores de empreendimentos localizados nessas regiões. A exposição a esse tipo de poluente, pode trazer como efeitos à saúde o câncer respiratório, arteriosclerose, inflamação de pulmão, agravamento de sintomas de asma, aumento de internações hospitalares e podem levar à morte (MMA, 2018)

Dapper *et al* (2016), identificaram, em um estudo em São Paulo (SP), a associação de material particulado inalável ao aumento de 4,6% nas internações de crianças por asma, 4,3% por doença pulmonar obstrutiva crônica em idosos e 1,5% por doença isquêmica do coração em idosos.

3.3. Alternativas para controle da emissão de Material Particulado

3.3.1. Umectação com água

Um dos métodos mais utilizados como atitude mitigadora das emissões difusas em vias sem pavimentação é a umectação com água. Esta é a forma mais simples de se amenizar as emissões.

Trata-se da utilização de recursos hídricos, sem nenhuma adição de produtos químicos ou similares, como forma de contenção das partículas presentes na via. Dessa forma, o solo fica úmido e o material particulado presente no mesmo não é transportado à atmosfera. Na prática, o processo busca imitar o efeito causado pela precipitação no solo.

A umectação com água aumenta o teor de umidade, que, por sua vez, facilita a aglomeração das partículas e reduz a probabilidade de as mesmas ficarem suspensas devido à passagem de veículos, equipamentos, ou mesmo pela ação dos ventos. Nesse caso, a eficiência do controle de poeira depende da rapidez com que a estrada seca

após a dispersão de água (COUNTESS ENVIRONMENTAL, 2004).

O volume de água empregado na umectação com água é muito grande e o índice de desperdício também, especialmente em regiões muito quentes e secas, onde a evaporação acontece de forma muito acelerada. A frequência de reaplicação necessária varia de minutos ou horas para a água pura sob condições de temperatura mais altas (COUNTESS ENVIRONMENTAL, 2004).

A situação se agrava em locais em que a disponibilidade hídrica é escassa, dado que a prioridade de uso da água é para abastecimento e, por isso, o cuidado no sentido de evitar perdas através da umectação de vias é presente.

De acordo com o guia desenvolvido por Countess Environmental (2004), as técnicas de controle de poeira aplicadas periodicamente começam a decair em eficiência quase imediatamente após a implementação. O exemplo mais extremo disso é a umectação de estradas não pavimentadas com água, em que a eficiência decai de quase 100% a 0% em uma questão de horas. Por outro lado, os efeitos dos supressores químicos de poeira aplicados às vias não pavimentadas podem durar vários meses.

3.3.2. Uso de produtos supressores de poeira

No que se refere a tratamentos que fazem uso de aditivos para melhoria de performance e/ou controle de poeira em vias não pavimentadas, a literatura apresenta uma série de produtos cujo uso é possível, mas dependente de uma análise de viabilidade.

Alguns dos benefícios do uso de produtos aditivos para supressão da poeira destacados por Jones *et al* (2013) são a redução da emissão de particulado fino, que muitas vezes auxilia na agregação dos particulados maiores, e assim, formam a camada superficial. Como resultado tem-se níveis reduzidos de poeira, maior segurança no transporte de pessoas e equipamentos, melhor qualidade do ar e da água, devido à redução da perda de sedimentos, melhor qualidade de vida dos moradores do entorno, aumento dos intervalos entre a substituição de cascalho ou outro material que compõe a superfície da estrada, custos de manutenção reduzidos, e

redução de reclamações públicas.

No estudo apresentado por Countess Environmental (2004), os supressores químicos, quando comparados com a umectação com água, requerem aplicações menos frequentes, pois são capazes de alterar as características físicas da via não pavimentada, podendo fazê-la se assemelhar a uma estrada pavimentada, exceto pelo fato de que a superfície não é suficientemente plana.

As iniciativas que têm o objetivo de reduzir a emissão de poeira fugitiva geralmente se concentram na pesquisa de um produto que se aplique a todos os casos. Encontrar essa solução é improvável, dado que inúmeros fatores devem ser considerados no gerenciamento de estradas não pavimentadas. Alguns deles são a engenharia da estrada, quem a usa e por que, política, economia, impactos ambientais, treinamento, recursos humanos, custo e satisfação dos *stakeholders*, etc (JONES *et al*, 2013).

No mercado existem vários produtos conhecidos pelo potencial de ação supressora de poeira ou de pó, alguns deles são solventes orgânicos, polímeros ou combinação de polímeros, resinas e outros. Jones *et al* (2013) afirmam que esses produtos químicos podem ser divididos em categorias, que são:

- *Absorvente de água*: Este tipo de tratamento funciona com base na absorção de pequenas quantidades de água diretamente da atmosfera. Com isso, as partículas do solo são aglomeradas e a matriz se mantém agregada devido a forças de sucção. Os produtos mais comuns desta categoria são o magnésio, o cloreto de magnésio e o cloreto de cálcio, que são solúveis em água.
- *Orgânicos não derivados do petróleo e polímeros naturais*: Esses tratamentos atuam como uma espécie de "cola" que aglomera as partículas finas e grosseiras. Esta categoria inclui lignossulfonatos, resinas arbóreas, óleos, óleos vegetais e melaços. É importante observar que esses são subprodutos comuns de indústrias de base e a maioria é solúvel em água.
- *Petróleo orgânico e resinas de petróleo*: Esse tipo de tratamento para supressão de poeira faz uso de emulsões asfálticas, que não sofrem

lixiviação durante as chuvas, mas são difíceis de manter em estradas não pavimentadas, pois pode ocorrer formação de crostas. As resinas de petróleo são, geralmente, uma mistura de polímeros naturais e aditivos à base de petróleo. Sua ação é semelhante à dos polímeros naturais, mas apresentam maior resistência à lixiviação pela água.

- *Emulsões de polímeros sintéticos*: Também conhecidos como dispersões de polímeros, esse tipo de tratamento são suspensões de polímeros em que os monômeros são polimerizados em um meio predominantemente aquoso. Uma vez que o meio aquoso evapora, os ingredientes ativos agregam as partículas entre si.
- *Fluidos sintéticos*: Esses tratamentos incluem fluidos de base sintética e formulações exclusivas de iso-alcanos sintéticos. Eles são paliativos eficazes para controle de poeira, e as estradas tratadas com fluidos sintéticos podem ser mantidas como vias não pavimentadas.
- *Óleos eletroquímicos / sulfonados*: Aditivos eletroquímicos e óleos sulfonados são dependentes de reações químicas para desempenhar satisfatoriamente suas funções. São compostos, principalmente, por óleos minerais hidrocarbonetos modificados com ácido sulfúrico para formar o ácido sulfônico. Os óleos sulfonados são surfactantes e têm a capacidade de corrigir ou substituir as trocas catiônicas em argilas e tornar os materiais do solo hidrofóbicos.

A utilização de polímeros é uma das alternativas encontradas para reduzir a dispersão de poeira fugitiva. O método baseia-se no uso da mistura entre polímero e água e pode ser utilizado para controle em pilhas de estéril e rejeitos, bancadas de lavra, carregamento via linha ferroviária, pilha de material e vias sem pavimentação (JONES *et al*, 2013).

A solução aquosa, quando pulverizada sobre a superfície, forma uma camada protetora que reduz a movimentação da poeira devido à movimentação de equipamentos, pessoas e também à ação dos ventos.

O polímero pode ser encontrado no mercado em pó ou líquido. Ao entrar em contato com o material particulado, a mistura (polímero e água) o aglutina em partículas

maiores e mais pesadas, cria uma camada de proteção temporária e impede que a poeira seja levada pelo vento ou pelo atrito dos pneus dos veículos. Sua eficiência varia de acordo com diversos fatores locais como clima, temperatura, umidade do ar, velocidade e sentido do vento, tipo de solo, movimentação de veículos, entre outros. Johnson e Olson (2009) estudaram a aplicação de supressores de poeira à base de cloreto de cálcio, cloreto de magnésio e polímero orgânico em diversas estradas do estado americano de Minnesota. Os resultados mostraram que os tratamentos reduziram os níveis de poeira, além de revelar que o teor de umidade da superfície foi o melhor preditor de eficiência do controle de poeira, tendo os níveis de poeira diminuídos com o aumento da umidade. Portanto, a dosagem implantada será variável, impactando diretamente no custo do projeto.

A eficácia do controle de poeiras fugitivas pode depender da taxa de diluição usada na mistura, da taxa de aplicação (volume de solução por unidade de superfície da estrada), tempo entre as aplicações, tamanho, velocidade e quantidade de tráfego durante o período entre aplicações e condições meteorológicas (COUNTESS ENVIRONMENTAL, 2004).

Ainda de acordo com o relatório apresentado por Countess Environmental (2004), outros fatores que podem influenciar o desempenho dos supressores de poeira são as características de tráfego e as características da estrada (por exemplo, resistência do rolamento, inclinação). Testes realizados em campo pela instituição demonstraram que o uso de produtos químicos para controle de poeiras fugitivas em estradas não pavimentadas forneceu uma eficiência de controle do MP de cerca de 80% quando aplicados em intervalos de 2 semanas a 1 mês.

No que diz respeito à gestão e manutenção de estradas vicinais, o entendimento de alguns dados é importante para definir um plano de ação adequado, principalmente quando se almeja entender se um tratamento químico é viável. Algumas dessas informações a serem coletadas são, de acordo com Jones *et al* (2013):

- alinhamento, geometria e drenagem da estrada;
- uso da terra adjacente;
- condição da estrada e classificação dos agregados;
- as espessuras do desgaste e da base, propriedades químicas e

físicas dos agregados do solo.

A aspersão pode ser feita através do uso de canhões pulverizadores, os quais, em geral, são acoplados a veículos por questões de logística, praticidade e para garantir uma maior área de operação. Os canhões podem ser usados tanto para umectação apenas com água quanto para a mistura entre água e polímero. O funcionamento é simples: é lançada uma fina camada do líquido para fazer com que a poeira que já está em suspensão decante ou a solução é aplicada diretamente na superfície, para formar a camada protetora e impedir que o material particulado não se dissipe pelo ambiente (JONES *et al*, 2013).

No que se refere à eficiência e benefícios do uso da mistura entre água e supressores de poeira, quando comparados ao uso puro de água, Lima *et al* (2016) identificou vantagens bastantes expressivas no que se refere à ganhos financeiros e ambientais, especialmente relacionados à redução de horas-máquina, uso da água, e emissão de CO_2.

Jones et al (2013) apresenta, em seu estudo, uma comparação de custos entre o tratamento químico e a manutenção sem aditivos de uma via não pavimentada americana. De acordo com os dados apresentados pelos autores, quando tratada quimicamente, a estrada apresentou um custo anual de quase a metade quando comparado à manutenção sem suplementação química. Além disso, a gestão através de aditivos também proporcionou uma redução dos custos de manutenção com o passar do tempo, característica não identificada no cenário dos tratamentos convencionais.

Os autores reforçam, ainda, que existem mais de 150 aditivos de estrada não pavimentados no mercado dos Estados Unidos, os quais variam de paliativos de uso geral que funcionam bem sob várias condições, até estabilizadores específicos que foram desenvolvidos para melhorar as propriedades de certos tipos de solos. Há, também de acordo com Jones *et al* (2013), uma tendência crescente de combinar dois ou mais aditivos em um único produto para melhorar o desempenho. Para selecionar corretamente um aditivo para uma estrada, o material que a compõe, suas propriedades, geometria das partículas, níveis de tráfego e clima devem ser conhecidos. Pelo fato de pesquisas na área serem escassas, a escolha do aditivo mais

adequado para cada situação, em geral, fica atrelada à experiência prévia de terceiros ou à recomendação de fabricantes. Por isso, em muitos casos, o uso de produtos químicos supressores de poeira é entendido como ineficiente, porém o mau desempenho pode ser associado à falta de conhecimento ou escolhas inadequadas (JONES *et al*, 2013).

3.4. A mineração no Brasil

A exploração mineral faz parte da história e da economia brasileira desde o período colonial. Com o passar do tempo, evolução da tecnologia no setor e descoberta de novos depósitos minerários, a cadeia de extração aumentou em volume, eficiência, receita, impacto ambiental e vários outros aspectos.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), em 2018, o Brasil exportou mais de 409 milhões de toneladas de bens minerais. Além disso, ainda segundo o Instituto, os produtos da mineração representaram 12,5% das exportações do Brasil e 36,6% do saldo comercial (IBRAM, 2019).

O último relatório de atividades apresentado pelo IBRAM, referente ao período entre julho de 2018 e junho de 2019, também apresentou dados em relação à participação da mineração no PIB nacional. “A indústria extrativa mineral também tem participação fundamental no Produto Interno Bruto (PIB) e representa 1,4% de todo o PIB Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), empregando cerca de 195 mil trabalhadores diretamente” (IBRAM, 2019).

Também apurada pelo Instituto, em 2018 a Produção Mineral Brasileira (PMB) foi de US$ 34 bilhões, valor 6,25% maior do que o de 2017. A expectativa é de que o setor fature ainda mais no ano de 2019, entretanto, com o rompimento da barragem em Brumadinho, ainda é difícil estimar o impacto financeiro gerado para o setor.

3.5. Emissão de poeira fugitiva na mineração

Dada a significativa relevância que a mineração tem na economia nacional e no desenvolvimento local, é importante reforçar o papel e impacto desta atividade na emissão de poluentes atmosféricos.

Apesar da contribuição dos gases, resultantes da queima de combustível de

máquinas e veículos, na poluição atmosférica ocasionada pela mineração, o principal componente da degradação do ar, nesses casos, é o material particulado, proveniente do desmonte das rochas, processos de perfuração, beneficiamento, abertura de vias de acesso e o transporte do material.

Os impactos da mineração na qualidade do ar se dão em diversos processos, desde a extração, passando-se pelo processamento, manuseio e, ainda, o transporte, onde são liberados para a atmosfera diversos poluentes, os quais variam de acordo com o mineral, tipo de operação, entre outros fatores.

Assim como reforçado anteriormente, o MP gerado configura-se como um fator que influencia diretamente a qualidade do ar, não apenas localmente. A poeira fugitiva gerada na extração, beneficiamento e transporte do minério pode permanecer por muito tempo em suspensão, tendo potencial para percorrer grandes distâncias e afetar a saúde de trabalhadores, comunidade local e populações de outras localidades. É válido reforçar que as características climáticas e físicas específicas do local influenciam a emissão e dispersão do particulado.

Considerando esse cenário e a importância de garantir que o setor se envolva nas estratégias de controle de poeira, o Departamento Nacional De Produção Mineral (DNPM), extinto em 2018 com a criação da Agência Nacional de Mineração (ANM), aprovou, em 2001, as Normas Reguladoras de Mineração – NRM. Para esse contexto, aplica-se a NRM-09 - Prevenção contra Poeiras (DNPM, 2001).

Dentre outras deliberações, a norma determina que “em toda mina deve estar disponível água em condições de uso, com o propósito de controle da geração de poeiras nos postos de trabalho, onde rocha ou minério estiver sendo perfurado, cortado, detonado, carregado, descarregado ou transportado”. A NRM-09 também reforça que “as superfícies de pisos dos locais de trânsito de pessoas e equipamentos devem ser periodicamente umidificadas ou limpas, de forma a impedir a dispersão de poeira no ambiente de trabalho.”

Caminhões fora de estrada transportam, frequentemente, material na região da mina. Os veículos, com enorme capacidade de carga, podem deslocar tanto material estéril rumo à disposição final, quanto o minério de valor agregado em direção ao beneficiamento. No que se refere, especificamente, à emissão de particulado

proveniente do transporte do minério por vias de tráfego, sabe-se que ela ocorre, via de regra, em vias não pavimentadas. Nesses casos, é possível observar que, tanto o atrito quanto a pressão exercida pelas rodas dos caminhões na superfície do solo podem causar a dispersão de material particulado (COUNTESS ENVIRONMENTAL, 2004). Por isso, a preocupação com a emissão de poeiras fugitivas resultantes dessa atividade deve ser uma constante para a indústria mineradora.

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização do local de estudo

O município de Brumado, também conhecido como a Capital do Minério, fica localizado no Sudoeste da Bahia, tem como principal base econômica a mineração de magnesita e talco. É detentor do maior Produto Interno Bruto *per capta* de sua microrregião e é responsável pelo 38º PIB do estado da Bahia (IBGE, 2015). A empresa Magnesita Mineração S.A. é, dentre as quatro maiores companhias de extração de magnesita, a que detém maior produção desse mineral e conta com duas grandes frentes de lavra em Brumado, cujos nomes são Pomba e Pedra Preta.

O clima tropical da região é caracterizado por estações bem definidas, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. Sendo assim, Brumado tem os meses de novembro a março com maior precipitação no ano e de abril a setembro com precipitação baixa. A estação chuvosa concentra quase a totalidade das chuvas, com 85% de precipitação média anual, sendo 53% da precipitação média anual concentrada no trimestre de novembro a janeiro. O mês de maior precipitação é novembro, com média de 132,0mm, e o mês mais seco é agosto, com precipitação média de 4,60mm (WATERGEO, 2016). Porém, mesmo em meses chuvosos, a média de precipitação do estado da Bahia, assim como a maior parte do Norte e Nordeste brasileiro, é mais baixa quando comparada com os demais Estados do país (INPE, 2018).

Outro parâmetro que influencia diretamente nas emissões de PTS é a velocidade do vento, carregando as partículas pequenas desprendidas do solo. No município de Brumado a velocidade média do vento é de 3,5 m/s. Os meses de abril a novembro detem as maiores velocidades do vento, coincidindo com os meses de maior precipitação (INPE, 2018).

O solo local é constituído por litotipos gnáissicos e migmatíticos arqueanos, ou seja, uma combinação de areias com níveis de argila e cascalho, e lateritos. Agravando a situação hídrica, os principais cursos d'água no entorno do empreendimento que fazem parte da bacia do rio de Contas, são intermitentes, ou seja, secam durante um período do ano, diminuindo a quantidade de recurso hídrico disponível (WATERGEO, 2016). Sendo assim, a drenagem pluvial de parte da mina é direcionada ao fundo da

cava, formando uma espécie de bacia, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1: Mina de Pedra Preta, Brumado/BA.

Fonte: Acervo pessoal da autora.

Até 2019 a captação superficial para umectação das vias não pavimentadas eram realizada pelos caminhões pipa no interior da cava da Mina de Pedra Preta, o que resulta no não pagamento do recurso natural e uma enorme praticidade, visto a proximidade do local. Porém, a água armazenada deverá ser drenada ao curso d'água mais próximo no ano de 2020, visto o rebaixamento da cava para processo de lavra. Tal rebaixamento obriga a empresa a buscar novas fontes de captação, superficial ou subterrânea, o que acarreta em novos processos de outorga de recursos hídricos, uma possível cobrança pelo uso da água e o principal fator, a escassez do recurso no entorno do empreendimento.

4.2. Levantamento de dados

O estudo foi dividido em três etapas. A primeira foi composta pela compilação dos dados de custo do processo de umectação, histórico de consumo de recursos hídricos no processo de umectação e discussão de alternativas de melhoria do processo, como

uso de supressor de poeira ou diminuição da frequência de umectação e uso do rejeito do processo de beneficiamento do mineral Magnesita como supressor. Dentre as alternativas apresentadas a realização de teste utilizando-se polímero supressor de poeira foi a escolhida, devido à possibilidade de redução dos custos e ao rápido retorno de resultados.

A segunda etapa foi a realização do teste do polímero e monitoramento de emissões de PTS nas situações com água e com polímero. Após a realização do teste e dos monitoramentos foram comparadas quatro variáveis: concentração de PTS, consumo de água, custo de máquinas e mão de obra e custos totais.

- Concentração de PTS: Foram medidas as concentrações de PTS próximo ao Banco 800 da cava da Mina de Pedra Preta, Figura 2, utilizando-se umectação com água e com o supressor de poeira, para posterior comparação de sua eficiência no controle de poeiras difusas. O local foi escolhido pela grande movimentação de veículos de grande porte e ser parte do tráfego rotineiro da mina.
- Consumo de água: Considerando “viagem” como a distância percorrida por um caminhão pipa de 20 m³ até o reabastecimento, verificou-se se o uso do supressor diluído na água afetaria o número de viagens realizadas pelo caminhão para umectação de toda a extensão da mina, alterando o consumo desse recurso. É importante salientar que a distância percorrida delo caminhão com água e com mistura água-polímero é diferente devido á velocidade de aplicação do método.
- Custo de máquinas e mão de obra: Observou-se se o uso do supressor teve influência sobre o custo do contrato dos caminhões e da mão de obra disponível para a atividade.
- Custos totais: Foram investigados os impactos financeiros do uso do polímero na gestão econômica da empresa, para isso foram comparados os custos totais dos dois processos de umectação, com água e com polímero. Entraram no cálculo o preço do polímero e do frete e custo com aplicação (contrato do caminhão pipa e mão de obra e combustível).

Foram levados em consideração os custos do contrato de aluguel dos dois

caminhões pipa e da mão de obra dos 4 motoristas responsáveis pela atividade e o custo com combustível para a situação de umectação com água. No caso do supressor foi acrescentado o custo do produto, do frete e feitas as alterações necessárias nos demais parâmetros.

Ressalta-se que a empresa não paga pelo recurso hídrico utilizado e que todas as informações de custos foram repassadas com base nos históricos de dados internos até novembro de 2019.

4.3. Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão

A concentração de PTS foi medida durante um período de 8 horas pelo método de amostrador de grandes volumes, conforme indicação da Resolução CONAMA Nº 491/18, que dispõe sobre padrões da qualidade do ar, e seguindo, em partes, a metodologia da Norma ABNT NBR 9547/97. O monitoramento de PTS foi realizado no mês de setembro de 2019, nos dias 16 e 24, utilizando apenas água, e nos dias 18 e 19 com uso do polímero supressor. A NBR 9547/97 indica monitoramentos com duração de 24 horas, porém, devido ao horário de serviço dos técnicos da empresa responsáveis pela coleta de amostras o tempo do monitoramento foi reduzido à 8 horas, de acordo com o turno de trabalho.

Todos os monitoramentos foram realizados no Banco 800 da Mina de Pedra Preta durante o período estabelecido como crítico pelos colaboradores da empresa, de 8:00 às 16:00 horas, visto a grande incidência solar, que deixa o solo seco e aumenta a evaporação da água, e por ser o momento de maior movimentação de veículos no local, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão medidas em dias de umectação das vias apenas com água.

Amostra	Data	Horário Inicial	Horário Final
1	16/09/19	8:00	16:00
2	24/09/19	8:00	16:00

Fonte: RHI Magnesita.

4.4. Aplicação do polímero supressor

Considerando que o teste foi composto por dois dias de monitoramento de PTS com umectação com água e dois dias de monitoramento de PTS com aplicação do polímero supressor do tipo fluidos sintéticos, que cria uma pequena camada aglomerando as partículas pequenas do solo evitando que elas se dispersem na atmosfera.

O teste da aplicação do polímero teve duração de aproximadamente 48 horas, iniciou-se às 8:00 do dia 18 e finalizou-se às 8:30 do dia 20 de setembro de 2019. A aplicação ocorreu no Banco 800 da Mina, trecho com maior movimentação contínua de caminhões conforme a Figura 2.

Figura 2: Banco 800 da Mina de Pedra Preta onde foi realizado o teste com o polímero supressor de poeira.

Fonte: RHI Magnesita.

O trecho tem 1.200 metros de extensão e 8 metros de largura, totalizando uma área de 9.600m². Durante o teste foram medidos, com aparelho específico e calibrado, outros parâmetros como, a velocidade média do vento, temperatura média e umidade relativa do ar, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros que influenciam na qualidade do teste com o polímero supressor.

Parâmetro	Medição
Velocidade média do vento	6,06 m/s
Temperatura média	28,18 ºC
Umidade relativa do ar	25,25 %

Fonte: RHI Magnesita.

Considerando como favorável um panorâma com velocidade média acima de 5,0 m/s, temperatura média acima dos 25 ºC e umidade relativa do ar acima dos 22%, pôde-se considerar os dias 18 e 19 de setembro como uma situação favorável para realização do teste visto que as variáveis de influência direta contribuíram para uma rápida evaporação da água, caracterizando uma situação de maior emissão se comparado com épocas do ano de menor temperatura e maior umidade relativa do ar.

Para que o supressor tivesse uma boa aderência e durasse em torno de 24 horas, seguiu-se as orientações do fabricante, realizando duas aplicações de 2000 ppm, o equivalente a 40 kg de produto em 20 m³ de água.

O método de aplicação utilizado foi o chamado “chuveirinho”, que, ao contrário dos demais métodos de aplicação utilizando caminhão pipa, aplica a mistura a uma pequena distância do chão, aproximadamente 40 cm, evitando desperdício ou aplicação em uma área maior do que a programada.

A primeira aplicação foi às 8:00 horas do dia 18 de setembro de 2019 e a segunda 24 horas após, às 8:00 horas do dia 19 de setembro de 2019, totalizando assim, 80 kg de produto e 40 m³ de água. O método utilizado para validar a aplicação foi o visual, no qual o responsável pela aplicação compareceu ao local 24 horas depois e comparou as situações de umectação com água e com polímero.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Concentração de Partículas Totais em Suspensão

Os monitoramentos realizados nos dias 16 e 24 de setembro referentes à situação de umectação por água resultaram em duas amostras. A primeira amostra foi coletada das 8:00 às 16:00 horas do dia 16 de setembro de 2019 e a quarta amostra, segunda sem atuação do polímero, das 8:00 horas às 16:00 horas do dia 24 de setembro de 2019, conforme demonstra a Tabela 4.

Tabela 4: Concentração de Partículas Totais em Suspensão medidas em dias de umectação das vias apenas com água.

Amostra	Data	Horário Inicial	Horário Final	Concentração (µg/m³)
1	16/09/19	8:00	16:00	3.157,90
4	24/09/19	8:00	16:00	2.903,89

Fonte: RHI Magnesita.

O monitoramento de PTS durante o teste do supressor gerou duas concentrações de 8 horas para que fosse possível a comparação dos resultados obtidos na situação com e sem uso de polímero. A segunda amostra, primeira com atuação do polímero, foi das 8:00 horas às 16:00 horas do dia 18/09/19 e a terceira amostra do teste foi coletada das 8:00 às 16:00 horas do dia 19/09/19, conforme demonstra a Tabela 5.

Tabela 5: Concentração de Partículas Totais em Suspensão medidas nos dias de teste com o polímero supressor de poeira.

Amostra	Data	Horário Inicial	Horário Final	Concentração (µg/m³)
2	18/09/19	8:00	16:00	331,13
3	19/09/19	8:00	16:00	755,56

Fonte: RHI Magnesita.

Portanto, ao analisar os resultados da Tabela 6, fica nítida a atuação do supressor na melhoria das emissões atmosféricas. A concentração média das amostras 1 e 4 de umectação usando apenas água é de 3.030,90µg/m³, e nas amostras 2 e 3 do teste do supressor reduziu para 543,35 µg/m³.

Tal redução indica uma eficiência da camada formada pelo polímero no controle das emissões de particulado de aproximadamente 82%, resultado condizente com o esperado, visto estudos como o da Mina de Capão Xavier (JÚNIOR, 2016).

Tabela 6: Concentração de Partículas Totais em Suspensão medidas nos períodos diurnos com e sem aplicação do polímero supressor

Amostra	Situação	Data	Período	Duração	Concentração (µg/m³)
1	Sem polímero	16/09/19	Diurno	8:00	3.157,90
2	Com polímero	18/09/19	Diurno	8:00	331,13
3	Com polímero	19/09/19	Diurno	8:00	755,56
4	Sem polímero	24/09/19	Diurno	8:00	2.903,89

Fonte: RHI Magnesita.

As amostras 2 e 3 referentes aos dias de teste com aplicação do polímero supressor deram uma alteração acime de 50%, isso porque no dia 19/09/19 houve um acidente com um caminhão que transportava material da área da mina até a área industrial da companhia, causando um derramaneto de material sobre a via e, conseguentemente, um aumento na concentração de PTS.

5.2. Consumo de água

Outro parâmetro calculado no estudo foi o potencial de redução do consumo de água, que chegou a uma redução de 33,26% com o uso do supressor de poeira no estudo de Lima et al (2016). Em correspondência ao esperado, na Mina de Pedra Preta a redução foi de 68% no consumo do recurso natural.

Segundo informações da empresa e considerando-se 30 dias no mês, na

umectação de 120 km de vias sem pavimentação, no processo apenas com água, são necessárias, em média, 25 viagens de caminhão pipa de 20m³ por dia, totalizando 750 viagens/mês e 9.000 viagens/ano. O equivalente a 500 m³ de água por dia, 15.000 m³/mês e 180.000 m³/ano.

Para cálculo do número de viagens do caminhão na umectação com o polímero foi necessário replicar alguns dados obtidos em campo. Dados como perímetro percorrido na umectação da Mina de Pedra Preta, velocidade do caminhão e tempo gasto para aplicação de 20 m³ da mistura água e supressor.

De acordo com orientações do fabricante do supressor a velocidade do caminhão pipa deve ser de 10 km/h para uma melhor homogeneização do produto na via. Sendo assim, durante os dois dias de teste, o tempo de aplicação de 20 m³ foi de 1 hora e meia, o que equivale dizer que o caminhão percorre 15 km/viagem. Portanto, para uma distância de 120 km serão necessárias 8 viagens.

Considerando que cada viagem do caminhão consome 20m³ de água, chegou-se ao consumo de 500 m³/dia sem supressor e 160 m³/dia com supressor, conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7: Variáveis do parâmetro Consumo de água utilizada para umectação das vias não pavimentadas da Mina de Pedra Preta com e sem uso do supressor de poeira.

Variável	Sem Supressor			Com Supressor		
	Dia	Mês	Ano	Dia	Mês	Ano
Nº de viagens do caminhão pipa	25	750	9.000	8	240	2.880
Consumo de água (m³)	500	15.000	180.000	160	4.800	57.600

Fonte: RHI Magnesita.

5.3. Custo de máquinas e mão de obra

De acordo com informações da empresa, no processo de umectação com água, a velocidade permitida para o caminhão pipa é de 20 km/h e o tempo gasto para

aplicação de 20 m³ de água é de 1 hora. Sendo assim, o caminhão percorre 20 km/viagem, o que implica em um total de 6 viagens para a distância de 120 km. Porém, nesse método de umectação é necessária a reaplicação de água várias vezes ao dia, visto a rápida evaporação do recurso. Na Mina de Pedra Preta são necessárias, em média, quatro reaplicações de água no mesmo local, o que indica a necessidade de 2 caminhões durante a atividade e 4 motoristas com turnos de 8 horas cada um.

Utilizando o supressor de poeira foi calculado um total de 8 viagens de 1 hora e meia para umectação dos 120 km, o que indica 12 horas de utilização do caminhão por dia. Portanto, foi solicitado um orçamento à terceira contemplando apenas um caminhão e 2 motoristas com turnos de 8 horas cada um.

Lima *et al* (2016) verificaram que seria possível alcançar uma redução percentual de 67,36% na variável Custo de máquinas e mão de obra na atividade de aspersão das vias de acesso à mina ao utilizar o produto supressor de poeira. Em correspondência à literatura no estudo realizado na Mina de Pedra Preta chegou-se a uma queda de aproximadamente 67% no contrato da terceira responsável pelos custos analisados, conforme explicado na Tabela 8.

Tabela 8: Custo de máquinas e mão de obra com e sem aplicação do supressor de poeira.

	Sem Supressor		Com Supressor		Porcentagem de redução
	Mês	Ano	Mês	Ano	
Custo de máquinas e mão de obra (R$)	45.000,00	540.000,00	15.000,00	180.000,00	- 67%

Fonte: RHI Magnesita.

5.4. Custo total

Foram contemplados os custos de máquina, mão de obra e combustível no parâmetro Custos totais no processo atual de umectação por água. Tais informações foram passados pela empresa e são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Custo total do processo de umectação das vias não pavimentadas utilizando apenas água.

Variáveis	Custo Mensal	Custo Anual
Contrato contemplando 2 caminhões pipa e 4 motoristas	R$ 45.000,00	R$ 540.000,00
Combustível	R$ 12.933,00	R$ 155.196,00
Custo Total	**R$ 57.933,00**	**R$ 695.196,00**

Fonte: RHI Magnesita.

No parâmetro Custo total do processo com uso de supressor foram contempladas as mesmas variáveis do método com água e acrescentado os custos referentes à compra e transporte do polímero.

Para o custo do combustível foi solicitado pela equipe da empresa um orçamento ao fornecedor do insumo com as novas informações de consumo do caminhão, como tempo de uso e velocidade.

Por fim, o consumo médio mensal do supressor foi calculado multiplicando o número de viagens pela massa de produto utilizado em cada uma delas. Ou seja, cada viagem necessita de 40 kg de supressor, multiplicado por 8 viagens, totaliza 320 kg/dia. Essa informação foi passada ao representante comercial da empresa do supressor que retornou com o custo do produto e do transporte, conforme demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10: Custos do processo de umectação das vias não pavimentadas utilizando polímero supressor de poeira.

Variáveis	Custo Mensal	Custo Anual
Contrato contemplando 1 caminhões pipa e 2 motoristas	15.000,00	180.000,00
Combustível	R$ 5.690,00	R$ 68.280,00
Polímero supressor e frete	R$ 31.860,00	R$ 382.320,00
Custo total	**R$ 52.550,00**	**R$ 630.600,00**

Fonte: RHI Magnesita.

Em seu estudo Lima *et al* (2016) chegaram à possibilidade de redução de custo de 36,22% substituindo-se o uso apenas da água pela mistura com o supressor. Em conformidade ao esperado, no teste realizado na Mina de Pedra Peta a queda aproximada do custo total do processo foi de 9% (Tabela 11).

Tabela 11: Custos do processo de umectação das vias não pavimentadas utilizando apenas água e polímero supressor de poeira.

Variáveis em R$	Sem Supressor		Com Supressor	
	Custo Mensal	**Custo Anual**	**Custo Mensal**	**Custo Anual**
Aluguel de caminhão pipa e mão de obra	45.000,00	540.000,00	15.000,00	180.000,00
Combustível	12.933,00	155.196,00	5.690,00	68.280,00
Polímero supressor e frete	-	-	31.860,00	382.320,00
Recurso hídrico	-	-	-	-
Custo Total	**57.933,00**	**695.196,00**	**52.550,00**	**630.600,00**

Fonte: RHI Magnesita.

Após compilação de todos os dados foi possível ter um panorama geral dos parâmetros e das quedas percentuais dos dois métodos estudados, conforme Tabela 12.

Tabela 12: Parâmetros analisados no teste de viabilidade do supressor de poeira para umectação das vias não pavimentadas da Mina de Pedra Preta.

Parâmetros	Sem Supressor	Com Supressor	Variação Percentual
Concentração média de PTS	3.030,90µg/m³	543,35µg/m³	- 82%
Consumo de água	180.000 m³/ano	50.400 m³/ano	- 68%
Custo de máquinas e mão de obra	R$ 540.000,00	R$ 180.000,00	- 67%
Custo Total	R$ 695.199,84	R$ 612.600,00	- 9%

Fonte: RHI Magnesita.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, a eficácia do uso dos polímeros supressores de poeira no controle de emissões difusas de material particulado em vias não pavimentadas foi comprovada do ponto de vista ambiental e financeiro.

No teste realizado na Mina de Pedra Preta pôde-se comprovar uma redução considerável na concentração de PTS, no consumo de água utilizada no processo de umectação das vias e no custo total da atividade. O que evidencia um bom custo benefício da alternativa tecnológica frente ao uso de água que se faz atualmente.

Os indicadores obtidos neste estudo, ainda que favoráveis, são preliminares, o que evidencia a necessidade de estudos mais abrangentes sobre o tema. Estudos estes que englobem as possíveis reduções de emissão de CO_2, custo com estoque de material, economia de combustível e possíveis manutenções de veículos e equipamentos e meses mais chuvosos que demandem menos produto e demais parâmetros não abordados, como otimização do tráfego na via.

Outra possibilidade de melhoria na atividade estudada e redução de custo associado é a utilização do estéril do processo de beneficiamento da própria empresa em uma possível substituição do supressor. A mudança poderia reduzir custos e daria uma melhor destinação frente à disposição em pilhas, como se faz atualmente. Porém, é necessário maior investimento em testes de campo e laboratoriais, tempo de pesquisa e parcerias com empresas especializadas na área de supressores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9547/1997 - Material particulado em suspensão no ar ambiente** – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13412/1995 - Material particulado em suspensão na atmosfera** – Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas. Rio de Janeiro, 1995.

ALMEIDA, I. T. de. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

AMARAL, R. Q. **Talco e Pirofilita**. 2009. Estatísticas e Economia Mineral, 5, p.482 – 492, 2013.

BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; PROCÓPIO, M.; ANDRÉ, P. A.; SALDIVA, P. H. N. **Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil**. *Cad. Saúde Pública* [online]. 2007, vol.23, suppl.4, pp.S570-S578. ISSN 0102- 311X. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2007001600017>. Acesso em: 01 set. 2018.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil, 1988**. Brasília: Senado Federal, Centro gráfico, 2003. 407 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral Brasileiro 2016**. Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2018. 131 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001**. Aprova as Normas Reguladoras de Mineração – NRM, de que trata o Art. 97 do Decreto-Lei nº227, de 28 de fevereiro de 1967.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 05 de 15 de junho de 1989.** Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar.

PRONAR. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 de junho de 1989.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Padrões de Qualidade do Ar. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-de-qualidade-do-ar>. Acesso em 09 ago. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 de novembro de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR.** Brasília, DF, 15 de junho de 1989.

BONFIM, M. R. **Avaliação de impactos ambientais da atividade minerária**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017. 46 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Padrões de Qualidade do Ar. 2019**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>. Acesso em 02 ago. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas 2018**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/>. Acesso em 08 set. 2019.

COUNTESS ENVIRONMENTAL. **WRAP Fugitive Dust Handbook**. Califórnia – UA. WGA Contract No. 30204-83, 2004.

COSTA, M. A.; MIYASHIRO, G. M.; CAMPELO, V.; BARBOSA, I. C.; SOUZA FILHO, E. M.; SILVA, I.; KLIGERMAN, D. C. **Efeitos das Partículas Totais Em Suspensão (PTS) na saúde da população dos bairros de Benfica, Bonsucesso, Ramos e Manguinhos - Rio De Janeiro/RJ**. HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, 5, p. 99 - 114, 2009.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. **Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo**. Estudos Avançados. São Paulo, v. 30, n. 86, p. 83-97. 2016.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Panorama da Mineração em Minas Gerais**. Instituto Brasileiro de Mineração, Sindicato Nacional da Indústria da Extração do Ferro de Metais. Brasília: IBRAM, 2015.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Panorama da Mineração em Minas Gerais**. Instituto Brasileiro de Mineração, Sindicato Nacional da Indústria da Extração do Ferro de Metais. Brasília: IBRAM, 2017.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Relatório Anual de atividades: julho 2018 a junho 2019**. 2019. Disponível em: <http://portaldamineracao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2019/07/relatorio-anaul-2018-2019.pdf>. Acesso em 15 ago. 2019.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geologia e Estatística**. 2015. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/brumado/panorama>. Acesso em: 02 set. 2018.

INPE – **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. 2018. <http://www.inpe.br/>. Acesso em: 29 nov. 2018.

JOHNSON, E. N.; OLSON, R. C. **Best practices for dust control on aggregate roads**. Minnesota Department of Transportation, Office of Materials. Minnesota, jan. 2009.

JONES, D.; KOCIOLEK, A.; SURDAHL, R.; BOLANDER, P.; DREWES, B.; DURAN, M.; FAY, L.; HUNTINGTON, G.; JAMES, D.; MILNE, C.; NAHRA, M.; SCOTT, A.; VITALE, B.; WILLIAMS, B. **Unpaved Road Dust Management, A Successful Practitioner's Handbook**. FHWA-CFL/TD-13-001. Western Transportation Institute, Colorado, 94p. 2013.

JÚNIOR, T. A. F.; ARAÚJO, V. A.; DODE, A. C. **Redução da emissão de material particulado na mineração gerado pela movimentação de caminhões na Mina de Capão Xavier, Nova Lima, Minas Gerais**. Revista PETRA, v. 2, n. 2, p. 224- 242, dez. 2016.

KAVOURAS, I.G; DUBOIS, D.W; NIKOLICH, G; AVITTIA, A.Y.C; ETYEMEZIAN, V. **Particulate dust emission factors from unpaved roads in the U.S.-Mexico borde semi-arid region**. Journal Of Arid Environments. [s.l], p. 189-192. August 27, 2015.

LIMA, P. G. de; FERREIRA, A. P. G.; FILHO, F. J. P. do. **Custo-benefício do uso de um supressor de poeira aplicado no controle de emissões fugitivas de vias de acesso de mina: um estudo na Samarco Mineração S.A. Ambiente Mineral.** Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente, v. 6, n. 1, 2016.

MMA - **Ministério do Meio Ambiente**. <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>. Acesso em: 18 nov. 2018.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). **Qualidade do ar e emissões atmosféricas: fontes fixas**. Disponível em: <http://www.feam.br/qualidade-do-ar/emissao-de-fontes-fixas>. Acesso em 10 ago. 2019.

QUEIROZ, A. C. P. S. **Dimensionamento da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar nas Minas de Ferro de Carajás-PA**. Dissertação (mestrado) – Instituto Tecnológico Vale. Belém, 2015.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. **Fatores Que Influenciam Na Concentração Do Material Particulado Inalável Na Cidade De Juiz De Fora (MG)**. CAMINHOS DE GEOGRAFIA [online]. 2005, pp.S23-S39. ISSN 1678-6343. <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em: 01 set. 2018.

UNITED NATIONS. United Nations Conference on Sustainable Development. **The future we want: final document of the Rio+20 Conference**. Rio de Janeiro, RJ, June 22, 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA - US). Particulate Matter (PM) Pollution: Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and- environmental-effects-particulate-matter-pm>. Acesso em 07 set. 2019.

WATERGEO SOLUTIONS - SOLUÇÕES EM GEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS LTDA. **Estudo Hidrogeológico**: sub-bacias coité e fábrica - Serra das Éguas. Dezembro, 2016.