



PEDRO FILIPE DE ASSIS MARÇAL

**AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE PARTÍCULAS TOTAIS
EM SUSPENSÃO DE ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO
EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM ARCOS -
MG**

**LAVRAS-MG
2021**

PEDRO FILIPE DE ASSIS MARÇAL

**AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO DE
ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE
CALCÁRIO EM ARCOS - MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Cristiane Alves Pereira
Orientadora

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me ensinado a ser perseverante no meu sonho de ser Engenheiro Químico, tornando-o passível de realidade.

Aos meus pais, Mauro e Patrícia, pelo suporte oferecido, por ter me apoiado nas minhas decisões com amor, fé e companheirismo.

Ao meu irmão, Tiago, que por muitas vezes foi meu combustível para não parar e continuar em busca de meus objetivos.

À minha orientadora, prof. Cristiane Alves Pereira por abraçar minha causa e me ajudar muito a tornar esse trabalho real.

A todos os demais professores que tive contato em minha graduação. Em especial ao prof. Irineu Petri Junior, Renata de Aquino Brito Lima Corrêa e Sérgio Scherrer Thomassi.

A todos os amigos do estágio na CSN Cimentos, em especial: Alexandre Ferreira, Glaydson Paulo Santos, Wellerson Juliano Eleutério, Diógenes de Oliveira Almeida, Ana Paula Ramos de Sousa, Alexssandra Parula, Bianca Borges Silva e Carlos Eduardo Silva Cunha.

Meus agradecimentos. Sem vocês este trabalho se faria impossível

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

É notório que a poluição do ar vem aumentando dia após dia. As atividades humanas estão, cada vez mais, prejudicando o ar e alterando as características da atmosfera terrestre. Os materiais particulados são uma classe de poluentes que tem um grande efeito negativo para a saúde humana e para o equilíbrio dos ecossistemas. Diante disso, os objetivos do trabalho foram realizar: análise das distribuições granulométricas para o material particulado coletado em dois pontos distintos (via que liga o escritório central ao refeitório e embarque ferroviário de fundentes) da CSN Cimentos – unidade Arcos e avaliar estatisticamente o banco de dados dos dois amostradores de grande volume (um localizado a montante da mina bocaina e o outro na comunidade Boca da Mata) da empresa, antes e após o início da utilização de um polímero supressor de poeira em suas vias. As análises granulométricas foram feitas utilizando o granulômetro a laser Mastersizer 3000E e os parâmetros estatísticos calculados para avaliar a população amostral foram: médias aritméticas mensais, médias geométricas anuais, coeficientes de correlação de Pearson e *boxplots*. Os resultados encontrados na análise estatística foram comparados com padrões ambientais estabelecidos pela resolução CONAMA nº 491/2018. Avaliando os resultados gerais, percebeu-se que as partículas da amostra coletada no embarque ferroviário de fundentes se mostraram maiores que as da amostra coletada na via que liga o escritório central ao refeitório. Para os dados dos amostradores, o trabalho mostrou que 5,16% de todos os dados coletados no amostrador a montante da mina e 17,05% de todos os dados coletados no amostrador da comunidade Boca da Mata estão acima dos padrões ambientais. Além disso, no amostrador da comunidade Boca da Mata, a média geométrica anual extrapola o limite legal em todos os anos, já no amostrador a montante da mina isso aconteceu em 2015, 2017 e 2020. Outra constatação importante foi a de que a porcentagem de pontos que excedem o limite ambiental subiu para ambos os amostradores após a inserção do polímero nas atividades da empresa (aumento de 2,62 pontos no amostrador a montante da mina e 24,34% no amostrador da comunidade Boca da Mata). Os dois amostradores possuem uma correlação classificada como fraca. Pôde-se perceber que fatores como sazonalidade, localização dos amostradores e quantidade de vendas das empresas da região alteram significativamente a emissão dos MP, como mostram os resultados coletados nos amostradores.

Palavras-chave: particulado, poluição, polímero supressor, mineração

ABSTRACT

It is notorious that air pollution is increasing day by day. Human activities are increasingly damaging the air and altering the characteristics of the Earth's atmosphere. Particulate matter is a class of pollutants that has a major negative effect on human health and the balance of ecosystems. Therefore, the objectives of the work were: analysis of the particle size distributions for the particulate material collected at two different points (via that connects the central office to the cafeteria and railway shipment of fluxes) of CSN Cimentos - Arcos unit and statistically evaluate the database of the company's two large-volume samplers (one located upstream of the Boca da Mata mine and the other in the Boca da Mata community), before and after the beginning of the use of a dust suppressing polymer in its roads. Particle size analyzes were performed using the Mastersizer 3000E laser granulometer, and the statistical parameters calculated to assess the sample population were: monthly arithmetic means, annual geometric means, Pearson correlation coefficients and boxplots. The results found in the statistical analysis were compared with environmental standards established by CONAMA resolution No. 491/2018. Assessing the overall results, it was noticed that, contrary to what was expected, the particles in the sample collected in the fluxes rail shipment proved to be larger than those in the sample collected in the road that connects the main office to the cafeteria. For sampler data, the work showed that 5.16% of all data collected in the sampler upstream of the mine and 17.05% of all data collected in the Boca da Mata community sampler are above environmental standards, and, in addition, in the sampler of the Boca da Mata community, the annual geometric mean exceeds the legal limit in every year, whereas in the sampler upstream of the mine this happened in 2015, 2017 and 2020. Another important point was the finding that the percentage of points that exceed the environmental limit rose for both samplers after the insertion of the polymer in the company's activities (increase of 2.62 points in the sampler upstream of the mine and 24.34% in the sampler in the Boca da Mata community). The two samplers have a correlation classified as weak. It was possible to notice that factors such as seasonality, location of samplers and the amount of sales of companies in the region significantly alter MP emission, as shown by the results collected in the samplers.

Keywords: particulate, pollution, suppressor polymer, mining

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Parte da planta CSN Cimentos | 5 |
| Figura 2 - Visão do Arranjo da CSN Cimentos..... | 6 |
| Figura 3 - Disposição do material particulado no sistema respiratório de acordo com o diâmetro das partículas | 10 |
| Figura 4 - Rampa de acesso ao refeitório em momento de pista seca..... | 16 |
| Figura 5 - Bombona de armazenamento Terrafix 22..... | 17 |
| Figura 6 - Coleta de particulado na via de acesso a mina Bocaina | 19 |
| Figura 7 - Mastersizer 3000E e amostra de particulado | 20 |
| Figura 8 - Localização dos amostradores na planta da CSN Cimentos..... | 21 |
| Figura 9 - Hi-Vol na montante da mina..... | 22 |
| Figura 10 - Hi-Vol na comunidade Boca da Mata | 22 |
| Figura 11 - Distribuição cumulativa das partículas verificadas para a Amostra 1 | 27 |
| Figura 12 - Distribuição cumulativa das partículas verificada para a Amostra 2..... | 28 |
| Figura 13 - Histórico do registro do monitoramento de PTS no amostrador Montante da Mina no período avaliado | 32 |
| Figura 14 - Histórico do registro do monitoramento de PTS no amostrador Comunidade Boca da Mata no período avaliado | 33 |
| Figura 15 - Médias aritméticas mensais no amostrador a montante da mina..... | 34 |
| Figura 16 - Médias aritméticas mensais amostrador comunidade Boca da Mata | 35 |
| Figura 17 - Médias geométricas anuais para os amostradores monitorados | 36 |
| Figura 18 - <i>Boxplots</i> dos dados pré utilização do polímero supressor de poeira..... | 39 |
| Figura 19 - <i>Boxplots</i> dos dados pós utilização do polímero supressor de poeira | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Estrutura do IQA. | 13 |
| Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar - CONAMA nº 491/2018. | 14 |
| Tabela 3 - Comparativo entre as frações mássicas e classificação das duas amostras de sólido suspenso coletadas. | 28 |
| Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson. | 37 |
| Tabela 5 - Categorização dos valores do coeficiente de correlação de Pearson..... | 38 |

LISTA DE SIGLAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPH – Calcário pré homogeneizado

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América

EPI's – Equipamento de proteção individual

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FISPQ – Ficha de informação de segurança de produtos químicos

GESAR – Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões

Hi-Vol – High Volume

IQA – Índice de Qualidade do Ar

LO – Licença de operação

MP – Material particulado

OECD – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OMS – Organização Mundial da Saúde

PF – Padrão de qualidade do ar final

PI – Padrão de qualidade do ar intermediário

PTS – Partículas totais em suspensão

UPV – Unidade Presidente Vargas

LISTA DE SÍMBOLOS

μg – Micrograma

Al – Alumínio

Ar – Argônio

Ca^{2+} - Cálcio

CaCO_3 – Carbonato de cálcio

CaSO_4 – Sulfato de cálcio

Cd - Cádmi

Cl^- - Cloro

CO – Monóxido de carbono

CO_2 – Dióxido de carbono

Cu - Cobre

Fe – Ferro

h - Hora

K^+ - Potássio

m – Metro

m^3 - Metro cúbico

mg – Miligrama

Mg^{2+} - Magnésio

N_2 – Nitrogênio

Na^+ - Sódio

NaCl – Cloreto de sódio

NH_4^+ – Amônio

Ni - Níquel

NO_2 – Dióxido de nitrogênio

NO_3^- – Nitrato

O_2 – Oxigênio

Pb – Chumbo

ppm – Parte por milhão

Si – Silício

SO_4^{2-} - Sulfato

SO_x – Óxidos de enxofre

Ti – Titânio

ton – Tonelada

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | OBJETIVOS | 2 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 2 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 2 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 3 |
| 3.1 | CSN..... | 3 |
| 3.2 | Poluição do ar | 6 |
| 3.3 | Material Particulado..... | 8 |
| 3.3.1. | Composição Química dos Particulados | 9 |
| 3.3.2. | Danos à Saúde | 9 |
| 3.4 | Material Particulado nas Mineradoras..... | 11 |
| 3.5 | Meios para Redução do Material Particulado nas Mineradoras | 12 |
| 3.6 | Legislação e Índice de Qualidade do Ar | 12 |
| 3.6.1 | Legislação Vigente | 13 |
| 3.7 | Monitoramento de Material Particulado | 15 |
| 3.8 | Material Particulado e a CSN | 15 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 18 |
| 4.1 | Materiais..... | 18 |
| 4.2 | Análise Granulométrica..... | 18 |
| 4.3 | Métodos Hi-Vol..... | 20 |
| 4.4 | Avaliação dos Dados do Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão.. | 23 |
| 4.4.1 | Avaliação Geral dos Dados | 23 |
| 4.4.2 | Obtenção das Médias Aritméticas Mensais | 23 |
| 4.4.3 | Obtenção das Médias Geométricas Anuais | 24 |
| 4.4.4 | Obtenção do Coeficiente de Correlação de Pearson | 24 |
| 4.4.5 | <i>Boxplot</i> (Diagrama de Caixa)..... | 25 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 26 |
| 5.1 | Análise Granulométrica..... | 26 |
| 5.2 | Análise dos Dados de Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão | 29 |
| 5.2.1 | Análise Geral dos Dados | 30 |
| 5.2.2 | Médias Aritméticas Mensais | 34 |
| 5.2.3 | Médias Geométricas Anuais..... | 35 |
| 5.2.4 | Coeficientes de Correlação de Pearson..... | 37 |
| 5.2.5 | <i>Boxplots</i> | 38 |
| 6 | CONCLUSÕES | 42 |
| 7 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 43 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 44 |
| | Apêndice I..... | 49 |
| | Apêndice II..... | 52 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a poluição do ar é um problema muito recorrente. Desde a revolução industrial as atividades antrópicas vêm prejudicando muito a qualidade do ar, e, conseqüentemente, fragilizando a saúde do próprio homem. Atividades industriais, utilização de veículos movidos por fontes energéticas fósseis, dentre outros aspectos tendem a poluir toda a atmosfera terrestre, e se não houver um limite, a vida na terra fica ameaçada.

De acordo com estudos de Brito et al. (2018) dentre todos os poluentes ambientais, os materiais particulados (MP) são os mais abrangidos em estudos toxicológicos e epidemiológicos. Os MP são partículas que, devido a seu pequeno diâmetro, ficam suspensas no ar e podem vir a ser inaladas pelos seres vivos. É comprovado que o dano à saúde é inversamente proporcional ao tamanho das partículas. Ou seja, quanto menor forem as partículas inaláveis, maior será o dano à saúde. Partículas muito pequenas podem ser depositadas até mesmo na corrente sanguínea dos seres humanos.

Um dos segmentos industriais que mais emite particulado é o minerário. Isso pode ser explicado pelo fato de as mineradoras operarem com máquinas de grande porte em suas áreas. Essas máquinas, devido a seu peso, fazem a suspensão da poeira que está depositada no solo, e, além disso, emitem particulados pelos seus escapamentos. Além disso, a própria extração mineral na lavra da mina, por meio de escavações e detonações também contribui efetivamente para a emissão dos MP. Essa grande quantidade de material suspenso pode causar malefícios a saúde dos colaboradores, se estes não fizerem uso de equipamentos de proteção individuais (EPI's).

Para monitorar o material particulado, as empresas fazem uso do amostrador de grande volume (*Hi-Vol* em inglês) o qual tem a função de medir a quantidade de material particulado que passa por seu sistema em um período de 24 h.

A CSN Cimentos S/A – unidade Arcos – como uma grande mineradora de calcário, tem uma grande preocupação com a emissão de MP devido a suas atividades. A empresa faz a umectação periódica de suas vias não pavimentadas com uma solução aquosa de um polímero supressor de poeira (Terrafix 22 ®). Além disso, a empresa trata como sendo obrigatório o uso de todos os EPI's por seus colaboradores.

A empresa conta com dois amostradores de grande volume, que são localizados em pontos distintos. Os amostradores operam de 6 em 6 dias, e seus resultados são

comparados com o padrão ambiental de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 491/2018.

A CSN Cimentos tem um histórico de monitoramento de partículas totais em suspensão (PTS) de dois Hi-Vol's sob sua responsabilidade e o autor foi autorizado a usar os registros para a realização deste trabalho. Os dados foram analisados desde janeiro de 2015 até dezembro de 2020, e foi feita uma comparação dos dados pré e pós inserção do Terrafix 22 ® na política interna da empresa, para verificar a eficácia do produto. Diversos parâmetros externos foram considerados na discussão dos resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o comportamento do material particulado gerado pela atividade de mineração entendendo sua distribuição granulométrica, bem como a evolução de partículas totais em suspensão (PTS) no ar. Além disso foi avaliado também o modo de controle da suspensão dos PTS pela aplicação de solução umectante contendo o produto Terrafix 22 na CSN Cimentos S/A.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, pode-se citar:

- Análise granulométrica de material particulado coletado em dois locais distintos da planta para fins de comparação. A partir daí, avaliar e discutir os resultados;
- Análise de dados de monitoramento de PTS realizado pelo amostrador de grande volume (Hi-Vol) da CSN em um período que antecede e sucede a aplicação de solução umectante contendo o polímero Terrafix 22.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CSN

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) foi fundada, pelo então presidente Getúlio Vargas, em 9 de abril de 1941 e iniciou suas atividades em 1 de outubro de 1946. No ano de 1993 a empresa foi privatizada e atualmente conta com mais de 23 mil colaboradores, mantendo o enfoque nos segmentos de siderurgia, mineração, logística, cimentos e energia. (CSN, 2021b).

A CSN tem em sua cultura um grande foco na segurança e respeito para com seus colaboradores, comprometimento com o meio ambiente e com as boas práticas produtivas e excelência no meio operacional (CSN, 2021a).

A empresa conta com uma usina siderúrgica integrada, a Usina Presidente Vargas (UPV) localizada em Volta Redonda – RJ, cinco unidades industriais, sendo duas delas no exterior (Portugal e Alemanha), uma distribuidora de aços planos, terminais portuários, participações em estradas de ferro e em duas usinas hidrelétricas e um segmento de mineração focado no abastecimento de insumos siderúrgicos e exportação, composto por minas de ferro, calcário e dolomito (CSN, 2021c).

A CSN atua em todos os negócios que têm relação, complementam ou impulsionam a produção de aço. Suas atividades incluem a mineração de ferro, de calcário e dolomito (matérias-primas para a produção de aço e cimento) até a distribuição, passando pela UPV que inclui toda a metalurgia e laminação, possuindo o mais completo portfólio de aços planos da América. (RENAULT et al., 2017). O aço da CSN está presente em diversos segmentos da indústria, dentre eles: automotivo, embalagens, linha branca, construção civil, etc (CSN, 2021c).

Em maio de 2009, com o intuito de ampliar, diversificar e atribuir mais sinergia a suas operações, a CSN entrou para o mercado cimenteiro com uma grande vantagem competitiva: a escória de alto forno advinda da UPV (CSN, 2021b). A empresa começou a utilizar seus rejeitos siderúrgicos e minérios não apropriados ao processo siderúrgico sendo estes, respectivamente, a escória de alto forno gerada na fabricação de ferro gusa (UPV) e o calcário não-siderúrgico extraído na mina Bocaina em Arcos – MG.

Em 2011 a unidade Arcos conseguiu sua primeira Licença de Operação (LO) para a produção de clínquer (componente base para a produção do cimento). O Forno 1 de

Clínquer produz 2.500 ton diárias deste produto intermediário da fabricação de cimento. (RENAULT et al., 2017).

Até o ano de 2015, a unidade Arcos possuía como principais atividades apenas a extração de fundentes e produção de clínquer. Este material era todo expedido para UPV, em Volta Redonda - RJ. No segundo semestre de 2015 foi implementado o primeiro moinho de cimentos da unidade. O segundo moinho de cimentos foi instalado no primeiro semestre de 2016 e o processo de ampliação da unidade Arcos se consolidou com a entrada de um segundo forno para clínquer. Esse segundo forno é o maior da América Latina, e tem capacidade de produzir até 6.500 ton de clínquer por dia. Somadas a operação dos dois fornos de clínquer a capacidade produtiva da unidade pode chegar a 9.000 ton / dia de clínquer. (RENAULT et al., 2017)

De acordo com Busato e Gobbo (2020) a jazida de calcário pertencente a mineração Bocaina é responsável por suprir 100% do calcário, tanto para a produção de cimento na unidade Arcos tanto para a produção de cimento e aço na Usina Presidente Vargas.

Hoje, a Companhia Siderúrgica Nacional é uma fábrica integrada de cimento, ou seja, possui uma mineração de calcário (principal componente para o cimento) e a fábrica em sí.

A unidade Arcos conta com duas linhas produtivas de clínquer, sendo a primeira chamada de “Linha 1” e a segunda chamada de “Linha 2”. A Mina da Bocaina é a responsável por alimentar as duas linhas com calcário.

A linha 1 se inicia com a extração de calcário o qual passa por um processo de britagem em série, que consiste em britagem primária, secundária e terciária. O calcário proveniente da britagem em série passa por peneiras que classificam o material e o destinam para suas funções. O calcário mais fino (dolomítico e calcítico) é usado como fundente e é transportado por ferrovia até a UPV. O calcário mais grosseiro é transportado até a pilha de Calcário Pré Homogeneizado (CPH). Da pilha de CPH, o material segue para o moinho de cru, onde será misturado e fundido parcialmente com argila no processo de clínquerização. Para que haja a formação do clínquer, essa mistura é aquecida a aproximadamente 1400 °C em grandes fornos rotativos. Esse clínquer é então estocado em grandes silos de armazenamento.

A linha 2 se inicia com a extração do calcário o qual passa por um britador mais robusto, e segue para a pilha de CPH. Da pilha, o material é misturado com argila para também dar origem ao clínquer (o forno usado para a linha 2 é o maior da América Latina, com capacidade para produzir 6500 toneladas de clínquer/dia).

Os clínqueres da linha 1 e da linha 2 são misturados em silos de armazenamento e parte dele é expedido, juntamente com os fundentes de alto forno, para UPV. A outra parte do clínquer entra em contato com calcário cru, gesso e escória de alto forno (proveniente da UPV) em proporções adequadas para se obter o cimento como produto final.

Se a unidade Arcos operar ininterruptamente, a capacidade nominal da fábrica utilizando apenas o forno 1 é de 912,5 mil ton / ano de clínquer (base seca). O forno 2 tem capacidade de fornecer aproximadamente 2,4 milhões de ton / ano. Logo, somando-se os dois fornos e analisando a capacidade total da fábrica, a unidade Arcos pode produzir cerca de 3,3 milhões de ton anuais de clínquer.

A Figura 1 mostra uma parte da planta produtiva da CSN Arcos. Já a Figura 2 mostra a visão por satélite de todo o arranjo da empresa.

Figura 1 - Parte da planta CSN Cimentos.



Fonte: Renault et al. 2017

Figura 2 - Visão do Arranjo da CSN Cimentos.



Fonte: Autor (2021)

De acordo com o relato integrado da CSN para o ano de 2020 o setor siderúrgico foi responsável por cerca de 51,78% da receita líquida do grupo CSN, o minerário por cerca de 39,55%, o logístico por 5,44%, o cimenteiro por 2,67% e o energético por 0,53% (CSN, 2021c).

3.2 Poluição do ar

A atmosfera é uma fina camada de ar que envolve o planeta e é nela que ocorrem diversos tipos de reações químicas. Ela é composta por componentes gasosos, líquidos e sólidos. Os principais elementos que constituem a atmosfera são: gás nitrogênio (N_2), com 78%, gás oxigênio (O_2) com 21%, gás argônio (Ar) com 0,93% e o composto dióxido de carbono (CO_2) presente em uma concentração de 0,03%. Há, também, sólidos e líquidos que constituem a atmosfera terrestre. Dentre estes, cita-se: poeira em suspensão, microrganismos, água condensada (nuvens), etc. (BAIRD; CANN, 2011). A poluição ambiental pode ser caracterizada pelo aumento da concentração destes componentes, ou a originação de outros componentes por meio de reações químicas, a ponto de atingir valores que ameacem o equilíbrio do meio ambiente e da vida da fauna e da flora.

De acordo com a resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018, poluição do ar significa a presença de um ou mais poluentes atmosféricos. Segundo a mesma resolução, poluente atmosférico é por sua vez, 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 (CONAMA, 2018).

O ar pode vir a ser contaminado de duas formas distintas: poluição natural (erupções vulcânicas, putrefação de matéria orgânica, etc.); poluição devido a ação humana (indústrias em geral, automóveis, incêndios, etc.) (SANTOS, 2017).

Os poluentes podem ser classificados em primários, quando é liberado diretamente à atmosfera, e secundários, quando os poluentes são resultado de interações químicas com outros poluentes e outras substâncias que já estão presentes na atmosfera (SANTOS, 2017).

Muitos poluentes provêm de fontes naturais, e se acumulam na atmosfera com o passar do tempo. No entanto, são os poluentes originários de ações humanas que constituem a maior contribuição da poluição atmosférica. Correntes de ar podem até dificultar o acúmulo deles em termos regionais, mas os lançamentos são feitos de forma muito frequente e acabam gerando problemas de poluição, principalmente em áreas com grande presença de indústrias e alto fluxo de automóveis (FU et al., 2013).

Dia após dia percebe-se que as atividades antrópicas que geram efeitos negativos ao ambiente causam uma alteração maléfica para a qualidade de vida das populações em variados aspectos. A urbanização acarreta mudanças na vida das pessoas, gerando costumes que afetam vigorosamente o meio. Tais mudanças ambientais, por sua vez, provocam grandes impactos na saúde física ou mental dos seres humanos (VORMITTAG, 2014).

Segundo Meller et al., (2017), a poluição atmosférica representa um dos maiores problemas da sociedade global atual e tal adversidade pode ser vista com maior intensidade em grandes centros urbanos. Depois da ocorrência da revolução industrial, a poluição ambiental se agravou devido a quantidade de combustíveis fósseis que passaram a ser utilizados. Por volta de 1970, os estudos nessa área começaram a se aprofundar (MELLER et al., 2017). Conforme apresentado por Davis e Masten (2016), no Brasil a preocupação com a poluição ambiental também se deu por volta da década de 70.

É notório que nos últimos tempos tem crescido consideravelmente a preocupação com os problemas de poluição do ar causados pelas atividades humanas. Devido a tal fato, desenvolveu-se um novo campo de estudos, o da saúde ambiental. Este conceito diz respeito aos âmbitos da qualidade de vida humana que são definidos por fatores ambientais, sejam: físicos, químicos, biológicos, etc. Faz referência a identificação, avaliação e mitigação de tais fatores, que, quando presentes no ambiente, tem potencial para afetar de maneira negativa a saúde de grupos humanos na geração atual ou nas próximas gerações.

Segundo publicação da Organização Mundial da Saúde (OMS), no ano de 2012, aproximadamente 7 milhões de pessoas ao redor do mundo perderam suas vidas por problemas decorrentes da poluição do ar: 3,6 milhões por causa da poluição externa e 3,4 milhões graças à poluição *indoor*. Esses números mostram que 12,5% das mortes no mundo têm alguma ligação com a exposição da pessoa ao ar contaminado (WHO, 2014).

Segundo BRASIL (2018) e MARTINS et al. (2008) dentre os poluentes atmosféricos que mais trazem consequências negativas para a flora e fauna de um ecossistema, destacam-se: Monóxido de carbono (CO), Chumbo (Pb), Dióxido de nitrogênio (NO₂), óxidos de enxofre (SO_x) e materiais particulados (MP).

3.3 Material Particulado

Segundo Brito et al. (2018), dentre todos os poluentes presentes na atmosfera, os materiais particulados são os mais abrangidos em estudos toxicológicos e epidemiológicos.

Se caracterizam como MP todos os poluentes constituídos por poeiras, fumaças e demais materiais que, devido ao pequeno diâmetro de suas partículas, se encontram em suspensão no ar no estado líquido ou sólido. As principais matrizes de emissão dos materiais particulados são: veículos automotores, atividades industriais, queima de biomassa e suspensão de poeira do solo (MOLINA JR. et al., 2013).

As partículas são diferenciadas entre si por sua granulometria. São três, as classes principais, sendo elas: partículas totais em suspensão (PTS) com $d \leq 50 \mu\text{m}$, partículas inaláveis (MP₁₀) com $2,5 < d \leq 10 \mu\text{m}$ e partículas inaláveis finas (MP_{2,5}) $d \leq 2,5 \mu\text{m}$ (CETESB, 2021). Em adição, dentro do MP_{2,5}, tem-se duas classes de materiais particulados: MP₁ ($0,1 < d \leq 1 \mu\text{m}$) e MP_{0,1} ($d \leq 0,1 \mu\text{m}$) (WILSON et al., 1997).

Quando comparados aos particulados mais grosseiros, os particulados finos e ultrafinos são mais facilmente dispersados na atmosfera terrestre. Isso se deve ao menor peso e diâmetro de suas partículas. Por serem mais leves e menores, são carregados com maior facilidade e dificilmente se depositam ao solo.

3.3.1. Composição Química dos Particulados

Os materiais particulados possuem composições diversificadas. Podem ser formados por poeira, metais, metalóides, sais marinhos, compostos orgânicos como hidrocarbonetos policíclicos e íons solúveis em água. Dentre estes, cita-se: Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dentre vários outros (MURILLO et al., 2013; ZHANG, F. et al., 2013; DESHMUKH et al., 2013; DAHER et al., 2013; ANCELET et al., 2013). A higroscopicidade (capacidade de absorver a umidade do ar) do material particulado está intimamente relacionada com os íons inorgânicos citados (DOMINGOS et al., 2012).

De acordo com Wilson et al., (1997), o PTS e o MP_{10} são compostos principalmente por solo suspenso ou poeira de rua, cinzas de combustão incompleta (carvão, madeira etc.), óxidos de elementos da crosta terrestre como Si, Al, Ti e Fe, sais CaCO_3 , CaSO_4 , NaCl , sal marinho, pólen, fungos, desgaste de pneus e pavimentação de estradas ou ruas.

Já o $\text{MP}_{2,5}$ é composto principalmente por íons de sulfato, nitrato e amônio, compostos orgânicos, metais compostos de Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, etc.

Para finalizar, tem-se MP_1 e $\text{MP}_{0,1}$, que segundo Wilson et al., (1997), são compostos primordialmente por sulfatos, carbono elementar e compostos orgânicos com baixa pressão de vapor para saturação.

3.3.2. Danos à Saúde

De acordo com de Menezes et al. (2008), os materiais particulados têm potencial para causar sérios danos à saúde humana. Devido a isso, os MP são um tema que despertam a curiosidade e aguçam pesquisas no âmbito científico (MIRANTE et al., 2013; AMIN et al., 2012).

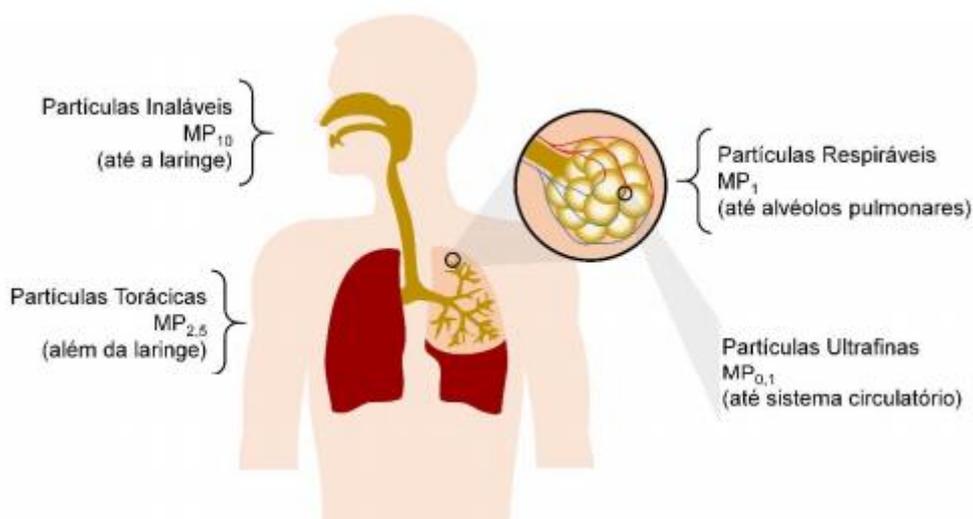
No ano de 2012 a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) lançou o relatório “Perspectivas Ambientais para 2050: as Consequências da Inalação”. Tal relatório disserta sobre o futuro de vários aspectos, enfoca que, se não forem adotadas novas posturas e medidas, a qualidade do ar tende a se degradar cada vez

mais. Enfatiza também o fato de que no ano de 2050 as doenças cardiorrespiratórias agravadas pela inalação do MP liderarão as mortes causadas devido a fatores ambientais, superando problemas de consumo de água não potável, e falta de saneamento básico, por exemplo (OECD, 2011).

A capacidade de provocar malefícios à saúde humana está relacionada com o tamanho das partículas. Quanto menor for o diâmetro, mais profundamente tal partícula irá se depositar no trato respiratório, e, por consequência, mais adversidades irá causar na saúde humana. Os sistemas humanos mais afetados pela inalação dos MP's são o cardiovascular e o respiratório. Contudo, há estudos que mostram que até o sistema reprodutor pode vir a ser afetado.

A Figura 3 mostra as zonas de deposição das partículas no sistema respiratório de acordo com seu diâmetro. As frações de partículas inaláveis, com $d < 10 \mu\text{m}$ (MP_{10}) se depositam na região do trato respiratório superior (laringe). As partículas com $d < 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) penetram além da laringe e se depositam na fração torácica. As partículas com $d < 1 \mu\text{m}$ (MP_1) chegam a se alojar nos alvéolos pulmonares. Por fim, partículas com $d < 0,1 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{0,1}$) podem passar pelos alvéolos e atingirem a corrente sanguínea (FERNANDES et al., 2010; KAMP et al., 2008; SOUZA et al., 2010).

Figura 3 - Disposição do material particulado no sistema respiratório de acordo com o diâmetro das partículas.



Fonte adaptada: Guarieiro et al., 2011.

Han et al. (2017) realizou um estudo que analisou a média global de emissão do particulado $\text{MP}_{2,5}$ entre os anos de 2000 e 2010. Os autores puderam observar que os

níveis de emissão desse particulado subiram bastante nesse intervalo de tempo, e, não surpreendentemente, nesses 10 anos foi constatado que a saúde humana também foi drasticamente afetada. No ano de 2010, aproximadamente 30% da população mundial (cerca de 1,94 bilhão de pessoas) estava exposta a níveis de $MP_{2,5}$ acima do limite recomendado pela OMS.

Mesmo com vários estudos apontando que os particulados mais finos são os mais nocivos à saúde humana, o monitoramento dos MP's fica restrito ao PTS, MP_{10} e $MP_{2,5}$. As partículas ultrafinas ($MP_{0,1}$) constituem cerca de 80% do material particulado e não tem um monitoramento rígido (REGGENTE et al., (2015)). Devido a tal fato, o $MP_{0,1}$ se torna uma preocupação emergente quando se trata de saúde pública. No Brasil, por exemplo, a legislação não contempla nem mesmo o $MP_{2,5}$. Tal fato acaba dificultando ainda mais o estudo e o detalhamento das complicações causadas pelos particulados finos à saúde humana.

3.4 Material Particulado nas Mineradoras

As atividades mineradoras mobilizam grandes quantidades de material, que requerem maquinários pesados e grandes equipes industriais para processar o minério extraído. As pilhas ou depósitos de rejeitos contém partículas pequenas que podem ser facilmente arrastadas pelo vento. Segundo Brauer et al. (2019), a maior fonte de contaminação atmosférica em operações de mina é o material particulado transportado pelo vento. Esse material pode ser oriundo de escavações, detonações, transporte de materiais, erosão eólica (mais frequente em minas a céu aberto), estradas, etc. A emissão de gases de escape de fontes móveis como carros, caminhões e maquinário pesado, também contribui para aumentar o nível do material particulado.

A mineração pode contribuir potencialmente para a contaminação do ar, especialmente no curso da etapa de operação. As etapas durante a extração, processamento, manipulação e transporte do minério podem, a depender de qual atividade minerária está sendo tratada, acarretar na geração de contaminantes atmosféricos perigosos, tais como: materiais particulados, metais pesados, monóxido de carbono, dentre outros (TAPIA, 2017).

Sem um adequado controle de poeira, esse material particulado afetará negativamente o desempenho da equipe produtiva. Tal fato compromete a eficiência da operação e prejudica a saúde dos colaboradores da empresa (RADA-JAMAN, 2017).

Sendo assim, é notória a preocupação com o controle da emissão de particulados, para que haja um atrelamento de saúde ambiental e de qualidade de vida para os colaboradores e vizinhos da atuação da mina (MAURY; BLUMENSCHNEIN, 2012).

3.5 Meios para Redução do Material Particulado nas Mineradoras

Para minimizar o efeito do material particulado, a maioria das mineradoras faz a umectação de suas estradas com água pura, utilizando como aspersores caminhões pipas (HERNÁNDEZ, 2018). O objetivo é aglomerar as pequenas partículas por peso e umidade. Essa não é uma técnica muito eficaz, visto que em zonas de calor intenso essa água se evapora rapidamente. Já em zonas de frio agudo, a água tende a se congelar e formar uma fina camada que pode fazer com que veículos deslizem e causem acidentes.

Existem diversos tipos de supressores de poeira que fazem um controle efetivo do particulado e podem ser usados em mineradoras. Os trabalhos de Vergara-Ravanel (2011), López-Chegne (2012) e Ovalle-Cárdenas (2014) destacam produtos a base de:

- Água, a qual é uma solução de curto prazo e opera a partir da aglomeração das partículas na superfície;
- Soluções de sais e cloros que suprimem a poeira a partir da atração e da umidade do ambiente. São mais efetivos em lugares que tem alta umidade e baixas temperaturas;
- Soluções de polímeros sintéticos que podem fortalecer a superfície da via, aumentando a tensão de ruptura em cerca de dez vezes;
- Produtos orgânicos não betuminosos. Atuam como uma espécie de cimento, ligando as partículas do solo entre si;
- Produtos betuminosos que incluem o asfalto, emulsões asfálticas, entre outros;
- Produtos eletroquímicos que são derivados do petróleo, e produtos iônicos. Se incluem nesse grupo os óleos sulfatados, enzimas e cloreto de amônio.

3.6 Legislação e Índice de Qualidade do Ar

O Índice de Qualidade do Ar foi criado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), e tem o objetivo de simplificar e padronizar a divulgação dos

resultados de monitoramento de qualidade do ar ambiental. O índice é obtido por meio de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os parâmetros de qualidade do ar. Esta função relaciona a concentração do poluente com o valor do índice e resulta em um número adimensional que é referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar. Cada poluente tem seu próprio índice e se forem medidos mais de um poluente em uma mesma fonte, para efeito de divulgação, prevalece aquele com maior índice, ou seja, a qualidade do ar daquele ponto é determinada pelo pior parâmetro.

A Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018 revogou a Resolução nº 03 de 1990. A resolução de 2018 é a que rege os padrões de qualidade do ar no território nacional. Em seu artigo 8º, definiu como responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente juntamente com os órgãos ambientais estaduais e distritais, em um prazo de 12 meses, dentre outras ações, a sistematização do cálculo de Índice de Qualidade do Ar (IQA), conforme padronizado no anexo IV da Resolução 491/2018.

No estado de Minas Gerais, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), por meio de Nota Técnica publicada pela Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões (Gesar), estruturou o IQA conforme Tabela 1. Na nova resolução de 2018, foi contemplando o parâmetro PTS, devido à presença de várias estações de monitoramento contínuo da qualidade do ar em áreas com influência da atividade minerária no estado.

Tabela 1 - Estrutura do IQA.

| Parâmetro | Qualidade do Ar | | | | |
|--|-----------------|-----------|-----------|------------|---------|
| | Boa | Moderada | Ruim | Muito Ruim | Péssima |
| Índice IQA (adimensional) | 0 - 40 | 41 – 80 | 81 – 120 | 121 - 200 | > 200 |
| PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h | 0 - 240 | 241 – 285 | 286 - 330 | 331 – 375 | > 375 |
| MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h | 0 – 50 | 51 – 120 | 121 – 180 | 181 – 250 | > 250 |
| MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h | 0 - 25 | 26 - 60 | 61 - 90 | 91 - 125 | > 125 |

Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM)

3.6.1 Legislação Vigente

A Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018 regulamenta e estabelece padrões para a qualidade do ar.

Essa resolução define padrões de qualidade do ar intermediários (PI). Eles são estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas. Há também o padrão de qualidade do ar final (PF), o qual é um valor definido pela OMS, no ano de 2005.

O artigo 4º da resolução CONAMA nº 491/18 estabelece que os padrões de qualidade do ar serão adotados sequencialmente:

Etapa 1: entrou em vigor a partir da publicação da resolução. Compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários (PI-1, PI-2 e PI-3).

Etapa 2: Estabelece que para os poluentes Monóxido de Carbono (CO), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb) será adotado o padrão de qualidade do ar final a partir da publicação da resolução.

Etapa 3: Os padrões de Qualidade do Ar Intermediários (PI-1, PI-2 e PI-3) e Final (PF) serão adotados de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar elaborados pelos órgãos estaduais e distritais do meio ambiente.

Na Tabela 2 é possível visualizar os padrões de qualidade do ar para materiais particulados estabelecidos pelo CONAMA nº 491/2018.

Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar - CONAMA nº 491/2018.

| Poluente | Período de Referência | PI-1 | PI-2 | PI-3 | PF | |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
| | | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | ppm |
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | 24 horas | - | - | - | 240 | - |
| | Anual* | - | - | - | 80 | - |
| MP ₁₀ | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 | - |
| | Anual** | 40 | 35 | 30 | 20 | - |
| MP _{2,5} | 24 horas | 60 | 50 | 37 | 25 | - |
| | Anual** | 20 | 17 | 15 | 10 | - |

Fonte: Resolução CONAMA nº 491/2018

(*) Média Geométrica Anual

(**) Média Aritmética Anual

3.7 Monitoramento de Material Particulado

O monitoramento do material particulado é feito pelo amostrador de grande volume (Hi-Vol). Tal aparelho determina a quantidade de partículas em suspensão no local em que está instalado, em um determinado período. Geralmente ele fica ligado por 24 horas seguidas, para gerar valores que podem ser comparados com o parâmetro estabelecido pelo CONAMA.

O Hi-Vol é um equipamento programável que, quando em operação, faz a sucção do ar a uma vazão de aproximadamente 240 mg/m³. Ele trabalha por 24 horas ininterruptas e força o ar a passar por um filtro de fibra de vidro. Esse filtro retém o material particulado, e posteriormente passa por análises que determinam a quantidade de particulado acumulado ali nesse período de 24 horas. A vazão do sistema é registrada em uma carta gráfica, a qual também fica instalada ao Hi-Vol (ASSIS et al., 2016).

A carta gráfica nada mais é do que um gráfico circular que registra os valores de vazão por meio de leituras de pressão estática no equipamento do exaustor (ASSIS et al., 2016).

3.8 Material Particulado e a CSN

A CSN Cimentos - unidade Arcos, assim como as demais mineradoras, busca o controle periódico da emissão de MP. A Figura 4 apresenta a via que liga o refeitório ao escritório administrativo da empresa, em um momento de via seca, com grande quantidade de particulado em suspensão.

Figura 4 - Rampa de acesso ao refeitório em momento de pista seca.



Fonte: Autor (2021)

Visando o controle sistemático da emissão de particulados nas áreas industriais e na mina da CSN, é feita a umectação de suas vias com o uso de caminhões pipa. Para isso, o tanque dos caminhões é abastecido por uma solução que contém água e uma mistura de polímeros. Essa solução é fornecida pela empresa Waterflows Bioquímica do Brasil LTDA., e o produto é denominado Terrafix 22.

O Terrafix 22 é usado exclusivamente para o controle de emissão de materiais particulados em vias não pavimentadas. O produto está pautado numa solução ecologicamente correta para a melhoria das vias e estradas não pavimentadas, sem restrições de uso com relação ao meio ambiente. Adicionalmente levando em consideração a sua facilidade de aplicação e alta capilaridade, faz com que todas as partículas do solo a ser compactadas sejam envolvidas pela solução do produto, promovendo assim uma excelente coesão das mesmas (WATERFLOWS, 2019).

Ele é um produto químico preparado, e sua fórmula constitui segredo de seu fabricante. Segundo sua Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), as matérias-primas utilizadas em sua composição não apresentam potencial bioacumulativo ou toxicidade aguda elevada. O produto também não apresenta potencial explosivo, corrosivo, radioativo ou tóxico (WATERFLOWS, 2019). A Figura 5 apresenta o contêiner IBC de armazenamento do produto Terrafix 22.

O produto promete aumentar o período de duração da umidade na via. Ou seja, a solução contendo água e TERRAFIX 22 tende a demorar mais para se evaporar do que água pura. Quanto mais úmida estiver a via, menor será a suspensão de particulado.

Além disso, seu uso periódico promete uma compactação do solo e floculação das pequenas partículas de poeira (várias partículas pequenas são agrupadas para a formação de um floco maior). Devido a floculação, as partículas de poeira aumentam seu tamanho e seu peso, se depositando novamente no solo pouco tempo depois de serem suspensas.

Figura 5 – Contêiner IBC de armazenamento Terrafix 22.



Fonte: Autor (2021)

Diante do exposto, considerando a qualidade do ar na planta e imediações, faz-se necessário o monitoramento da emissão de particulados, conforme legislação já apresentada. A CSN faz isso por meio de dois amostradores de grande volume (Hi-Vol). O método de referência usualmente usado é o da ABNT NBR 9547:1997 (Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente - Determinação da Concentração Total pelo Método do Amostrador de Grande Volume).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Para a execução do trabalho, foram necessários: óculos e capacete de proteção, máscara PFF2, colete refletivo, pá e sacos de lixo para coletar as amostras nas vias e uma peneira granulométrica com abertura de 230 mesh para fazer um pré peneiramento manual das amostras coletadas anteriormente.

4.2 Análise Granulométrica

Para caracterizar a distribuição granulométrica, foram coletadas duas amostras do material particulado suspenso na planta da CSN Cimentos - unidade Arcos - de dois locais distintos. A amostra 1 foi coletada na via que liga o escritório central à área de início da Mina Bocaina, uma região na qual é realizada a umectação periódica com a solução aquosa de Terrafix 22. A amostra 2 foi proveniente da via localizada próxima ao embarque ferroviário de fundentes, em uma região na qual não é realizada a umectação da via com a solução aquosa do polímero.

As amostras foram coletadas no dia 28 de junho de 2021. Não houve ocorrências de chuvas nos 30 dias que antecederam a coleta. As amostras foram coletadas com pá e armazenadas em saco de lixo. A Figura 6 retrata a coleta da amostra na rampa.

Figura 6 - Coleta de particulado na via de acesso a mina Bocaina.



Fonte: Autor (2021)

Feito isso as duas amostras coletadas anteriormente foram conduzidas a laboratório para serem realizadas suas análises granulométricas. Foi usado o granulômetro a laser Mastersizer 3000E, da marca Malvern o qual pode ser visualizado em operação com as amostras ao lado do equipamento na Figura 7.

Previamente a inserção no granulômetro a laser as amostras passaram, individualmente, por um peneiramento manual em uma peneira de 230 mesh ($63\ \mu\text{m}$). O objetivo desse peneiramento foi evitar que sólidos mais grosseiros, como cascalhos, fossem inseridos no granulômetro.

Após o peneiramento, as amostras foram conduzidas separadamente ao granulômetro a laser. Para isso, uma alíquota das amostras foi adicionada a um béquer contendo água destilada. A quantidade de amostra adicionada ao granulômetro seguiu a recomendação que o visor do equipamento mostrava. Posteriormente o equipamento ofereceu um relatório, o qual contém os resultados em triplicata.

Figura 7 - Mastersizer 3000E e amostra de particulado.



Fonte: Autor (2021)

4.3 Métodos Hi-Vol

Foram disponibilizados os registros de monitoramento da qualidade do ar dos dois amostradores de grande volume (Hi-Vol) sob gerenciamento da CSN Cimentos - unidade Arcos - dos anos compreendidos entre 2015 a 2020. O acompanhamento das partículas totais em suspensão é realizado a cada 6 dias. Para isso, um colaborador da Gerência de Meio Ambiente se dirige até os dois amostradores de grande volume da empresa, troca os filtros e programa os equipamentos para operarem por 24 h ininterruptas.

Após essas 24 h de operação, o colaborador volta nos Hi-Vol's, coleta os filtros que ficaram em contato com o ar e mensalmente os destinam a uma empresa terceirizada. Ao final de cada mês, a terceirizada emite um relatório contendo todas as medidas registradas.

Os amostradores ficam situados em dois pontos distintos:

- A Montante da Mina;
- Comunidade Boca da Mata.

O amostrador a montante da mina mede a qualidade do ar nas proximidades da mina Bocaina, e o amostrador da comunidade Boca da Mata avalia a qualidade do ar na comunidade Boca da Mata, uma região vizinha às instalações da CSN Cimentos. Desse modo, a empresa mede a influência de sua atividade no cotidiano de seus colaboradores e também na vida das pessoas que se instalaram nos arredores da planta produtiva.

Adotou-se um ponto de referência dentro da lavra da mina para fazer a caracterização da localização dos amostradores. Tal ponto está 770 m acima do nível do mar. O Hi-Vol a montante da mina está cerca de 990 m distante do ponto de referência e 821 m acima do nível do mar, ou seja, 51 m acima do ponto de referência na lavra. Por sua vez, o amostrador da comunidade Boca da Mata está 2863 m distante do ponto de referência e 689 m acima do nível do ar, e, portanto, 81 m abaixo do ponto de referência. Os dois amostradores estão distanciados por cerca de 3208 m e o amostrador a montante da mina está cerca de 132 m acima do amostrador da comunidade Boca da Mata. A Figura 8 traz uma imagem de satélite que apresenta a localização dos amostradores e o ponto de referência adotado.

O amostrador a montante da mina é vizinho de uma cortina arbórea natural. A vegetação ao seu redor é fechada e densa; por outro lado o amostrador na comunidade Boca da Mata está em um campo aberto, sem a presença de vegetação densa ao seu redor.

A Figura 9 apresenta o Hi-Vol na montante da mina e a Figura 10 se remete ao Hi-Vol na comunidade Boca da Mata.

Figura 8 - Localização dos amostradores na planta da CSN Cimentos.



Fonte: Autor (2021)

Figura 9 - Hi-Vol na montante da mina.



Fonte: Autor (2021)

Figura 10 - Hi-Vol na comunidade Boca da Mata.



Fonte: Autor (2021)

4.4 Avaliação dos Dados do Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão

A CSN Cimentos possui em seus registros internos os relatórios mensais da emissão de particulados, tanto no Hi-Vol na montante da mina quanto no Hi-Vol na comunidade Boca da Mata. Foi concedida permissão por parte da empresa para que o autor utilizasse os dados neste trabalho.

Coletaram-se os valores amostrais de todos os meses disponíveis, desde janeiro de 2015 até dezembro de 2020. A partir daí, os dois amostradores foram avaliados e para cada um deles foi calculada a média aritmética mensal da emissão de particulado para todos os meses, a média geométrica anual para todos os anos analisados.

Além das médias, foram calculados coeficientes de correlação de Pearson para três intervalos distintos (antes do início da aplicação do Terrafix 22 na umectação das vias, depois do início do uso do polímero na umectação das vias e um coeficiente correlacionando todos os dados da população) e os *boxplots* para os dois amostradores, antes do início da utilização da solução aquosa de Terrafix 22 e após o início desta utilização.

4.4.1 Avaliação Geral dos Dados

A primeira análise realizada referiu-se aos dados gerais da população amostral no período dos seis anos. Para isso, os valores foram organizados em gráficos e comparados com o padrão de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela resolução CONAMA nº 491/2018.

Através dos gráficos, também foi possível verificar pontos fora do padrão estabelecido e discutir sobre eles.

4.4.2 Obtenção das Médias Aritméticas Mensais

As médias aritméticas mensais foram calculadas para todo o período monitorado em cada uma das estações.

A média aritmética de cada mês foi calculada através da Equação 1.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Em que:

\bar{x} = média aritmética da amostra;

x_n = enésimo elemento da amostra;

n = número de elementos da amostra.

Os valores foram organizados em gráficos e comparados com o padrão de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela resolução CONAMA 491/2018.

Através dos gráficos, também foi possível verificar pontos fora do padrão estabelecido e discutir sobre eles.

4.4.3 Obtenção das Médias Geométricas Anuais

As médias geométricas anuais foram calculadas para todo o período analisado neste trabalho.

A média geométrica anual foi calculada através da Equação 2.

$$\bar{g} = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * \dots * x_n} \quad (2)$$

Em que:

\bar{g} = média geométrica da amostra;

x_n = enésimo elemento da amostra;

n = número de elementos da amostra.

Para avaliar os valores obtidos, os valores foram organizados em um gráfico que contempla todos os anos e os dois amostradores estudados. Os valores do gráfico foram comparados com o padrão de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela resolução CONAMA 491/2018.

Através do gráfico, também foi possível verificar valores fora do padrão estabelecido e discutir sobre eles.

4.4.4 Obtenção do Coeficiente de Correlação de Pearson

Foram calculados três coeficientes de correlação de Pearson: Um deles para a amostra de dados do período que compreende antes da utilização do Terrafix 22 (01/15 a

07/17), um para a amostra de dados do período depois da utilização do polímero (08/17 a 12/20) e um envolvendo todos os dados coletados.

Os coeficientes foram calculados com o intuito de verificar a correlação entre os dados obtidos nas duas estações de monitoramento.

O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado através da Equação 3.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2] * [\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (3)$$

Em que:

r = coeficiente de correlação de Pearson;

x_i = elemento i da primeira amostra de variáveis;

\bar{x} = média aritmética da primeira amostra de variáveis;

y_i = elemento i da segunda amostra de variáveis;

\bar{y} = média aritmética da segunda amostra de variáveis.

4.4.5 *Boxplot* (Diagrama de Caixa)

Foram plotados quatro diagramas de caixa. Para isso, os dados dos amostradores a montante da mina e Boca da Mata foram divididos em dois intervalos: dados registrados antes do início da umectação com o Terrafix 22 e dados monitorados após o início da umectação.

Os *boxplots* são plotados a partir da definição de cinco valores: limite inferior, quartil 1, mediana ou quartil 2, quartil 3 e limite superior. Para o cálculo desses valores, faz-se necessário organizar os dados em ordem crescente.

No caso do cálculo da mediana, se o conjunto de elementos for par, soma-se os dois elementos centrais e divide-se por 2. Se a coleção de dados for ímpar, a mediana é o próprio elemento central.

O quartil 1 é a mediana dos dados menores que o quartil 2. Já o quartil 3 é a mediana dos dados maiores que o quartil 2.

O limite inferior e o limite superior são obtidos através das Equações 4 e 5, respectivamente.

$$LI = Q_1 - 1,5 * (Q_3 - Q_1) \quad (4)$$

$$LS = Q_3 + 1,5 * (Q_3 - Q_1) \quad (5)$$

Em que:

LI = Limite inferior;

LS = Limite superior;

Q_1 = Quartil 1;

Q_3 = Quartil 3.

Importante salientar que se o menor valor da amostra for maior que o limite inferior, o limite inferior passa a ser o menor valor da amostra. Se o maior valor da amostra for menor que o limite superior, o limite superior passa a ser o maior valor da amostra.

Dados menores que o limite inferior e maiores que o limite superior são chamados de *outliers*.

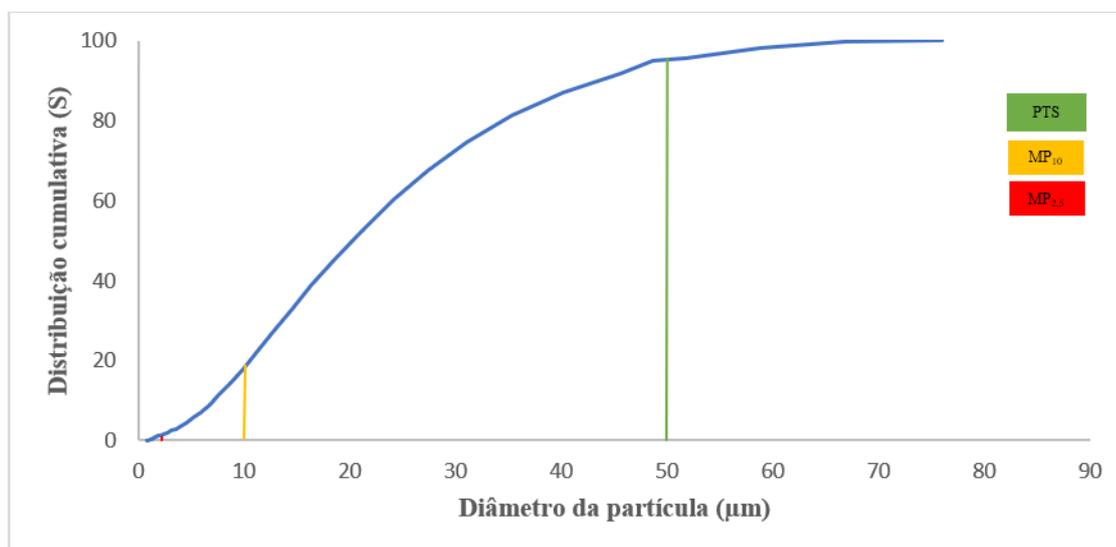
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Granulométrica

As duas amostras coletadas de particulado passaram pelo Mastersizer 3000E, e o equipamento gerou o resultado em triplicata. As distribuições granulométricas para a Amostra 1 (coletada na rampa que liga o escritório central à área de início da Mina Bocaina) e para a Amostra 2 (via localizada próxima ao embarque ferroviário de fundentes) são apresentados por tabelas que estão contidas no Apêndice I. Também foram gerados, para as duas amostras, gráficos que retratam a distribuição cumulativa das partículas.

A Figura 11 apresenta a distribuição cumulativa das partículas presentes na Amostra 1. A partir da análise dessa figura, percebe-se que 95% das partículas presentes na Amostra 1 possuem diâmetro menor que 50 μm . Desta forma, 95% do particulado suspenso em via onde a umectação com Terrafix 22 é frequente é classificado como PTS.

Figura 11 - Distribuição cumulativa das partículas verificadas para a Amostra 1.



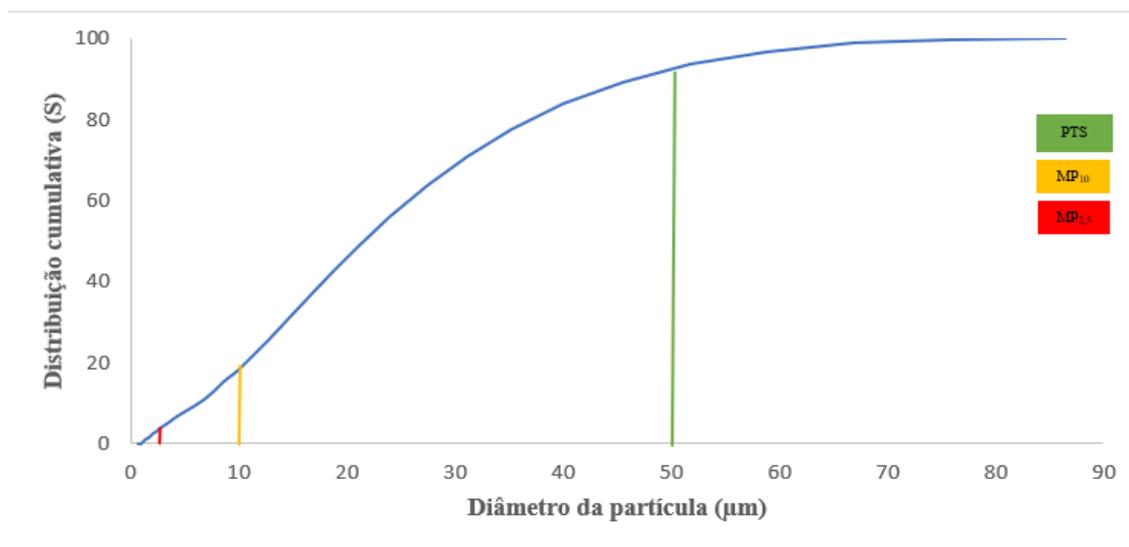
Fonte: Autor (2021)

Além disso, também é importante analisar as partículas inaláveis (MP_{10}) ($2,5 < d \leq 10 \mu\text{m}$) e as partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$) ($d \leq 2,5 \mu\text{m}$). Ainda pela análise da Figura 11, verifica-se que cerca de 15% da amostra é constituída por MP_{10} e 3% por $MP_{2,5}$. Logo, aproximadamente 15% do sólido suspenso pelas atividades da empresa chega até a laringe de seus colaboradores e 3% alcançam pontos além da laringe, chegando até a caixa torácica, podendo causar danos à saúde do seu pessoal.

É importante frisar que a CSN Cimentos fornece e torna obrigatório o uso de máscaras de proteção, sendo que todos os colaboradores devem passar por exames de rotina semestrais, nos quais está inclusa uma radiografia do pulmão.

Para o caso da Amostra 2, pode-se observar na Figura 12 a distribuição cumulativa das partículas presentes na amostra.

Figura 12 - Distribuição cumulativa das partículas verificada para a Amostra 2.



Fonte: Autor (2021)

A partir da análise da Figura 12, percebe-se que aproximadamente 92% das partículas da Amostra 2 são menores que 50 µm. Ou seja, se o solo não for umectado com o polímero supressor de poeira, cerca de 92% do material particulado suspenso entrará na classificação de PTS.

Analisando as partículas inaláveis e as partículas inaláveis finas, conclui-se que cerca de 14,5% da Amostra 2 é classificada como MP₁₀ e em torno de 3,5% como MP_{2,5}.

O resultado nos mostra que, sem a utilização da solução umectante, em torno de 14,5% do material suspenso chega até a laringe dos colaboradores, e 3,5% vão além da laringe.

A Tabela 3 traz um comparativo entre a classificação do material particulado para as duas amostras de material particulado suspenso analisadas.

Tabela 3 - Comparativo entre as frações mássicas e classificação das duas amostras de sólido suspenso coletadas.

| Classificação | Particulado com presença de Terrafix 22 - (%) | Particulado sem presença de Terrafix 22 - (%) |
|-------------------|---|---|
| PTS | 95,0 | 92,0 |
| MP ₁₀ | 15,0 | 14,5 |
| MP _{2,5} | 3,0 | 3,5 |

Fonte: Autor (2021)

De acordo com o fabricante, um dos benefícios proporcionados pelo uso do Terrafix 22 é a coesão das partículas. Ou seja, o solo umectado com a solução aquosa do polímero tende a ter seu particulado mais grosseiro, para que este se deposite mais rapidamente junto ao solo.

Após o estudo dos dados obtidos pelas análises granulométricas, pôde-se concluir que, após o peneiramento inicial para a remoção de partículas grosseiras, a quantidade de partículas com diâmetro maior que 50 μm é de 5% na Amostra 1 e 8% na Amostra 2.

Ao avaliar o MP_{10} , percebe-se que, para a Amostra 2, 85,5% das partículas tem diâmetro maior que 10 μm . Já para a amostra proveniente da via umectada com a solução contendo o polímero Terrafix 22, esse valor é de 85%.

Analisando-se agora o $\text{MP}_{2,5}$, verifica-se que para a Amostra 2, que 96,5% das partículas têm diâmetro maior que 2,5 μm . Para a Amostra 1, a porcentagem de $\text{MP}_{2,5}$ é de 3%.

Portanto, verificou-se o contrário daquilo que era esperado. Teoricamente a amostra de solo umectado com o polímero supressor apresentaria diâmetros de partículas maiores que os da amostra de solo cru. Uma possível explicação para isso é o primeiro peneiramento manual, na malha de 230 mesh. A massa retida não foi registrada, mas pode ter ocorrido de uma grande quantidade de massa da Amostra 1 ter ficado retida na malha em relação a Amostra 2. Ou seja, talvez as partículas da Amostra 1 tenham diâmetro majoritariamente maiores que a abertura da peneira (63 μm).

5.2 Análise dos Dados de Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão

Conforme já abordado na Seção 4.4, para a análise dos dados, utilizou-se os relatórios disponíveis desde janeiro de 2015 até dezembro de 2020, para o amostrador a montante da mina e o amostrador na comunidade boca da mata. Os dados foram organizados em um editor de planilhas para tratamento. Utilizando a formatação condicional, realçou-se em vermelho todos os valores acima de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vale ressaltar que as duas populações de registros têm dados em branco. Isso se deve ao fato de ter havido problemas com os amostradores, que impossibilitaram a medição, na época em que os dados estavam sendo coletados. Algumas falhas citadas são: falta de energia no equipamento no dia da sua operação, ocorrência de caixas de abelhas dentro do Hi-Vol, dentre outros.

5.2.1 Análise Geral dos Dados

A partir de todos os dados fornecidos, pôde-se obter a Figura 13 que mostra o registro de todos os dados populacionais do amostrador a montante da mina. Os dados estão divididos no gráfico por curvas, onde cada uma representa um ano monitorado. Há também uma linha que denota para o limite de concentração permitido pelo CONAMA nº 491/2018.

Ao todo são 252 amostras para este amostrador, sendo que 13 (5,16% da população) delas superam o limite estabelecido por lei. Destas 13 que superam, 9 (69,23%) são do período pós inserção do polímero na política interna da empresa. O Apêndice II traz todos os dados.

Além disso, outro fato relevante é a influência da sazonalidade nos valores registrados. Pode ser percebido que os maiores valores de concentração ocorrem no período de estiagem na região sudeste (entre abril e setembro). Das 13 ocorrências que superam o padrão ambiental estabelecido pela resolução CONAMA 491/2018, 12 (92,30%) ocorreram no período de estiagem.

Tal fato pode ser justificado, pois em períodos chuvosos a umectação da via é feita, além dos caminhões pipa, pela própria chuva. Além disso, com a chuva, o particulado presente no ar precipita junto com a chuva. Já em tempos secos apenas os caminhões pipas devem umectar os caminhos e, conseqüentemente, a via recebe menos água quando comparado com o período chuvoso.

A Figura 14 apresenta os dados monitorados no amostrador localizado na comunidade Boca da Mata. Para este amostrador, têm-se 258 registros no período analisado, sendo que em 44 (17,05% da população) o limite estabelecido pelo CONAMA é violado. Dos 44 registros em desacordo com a legislação, 39 (88,64%) são encontrados no período pós implementação do polímero (agosto / 2017). Essa maior quantidade de pontos fora das especificações neste amostrador comparado ou outro pode ser explicada pela localização dos Hi-Vol's.

A comunidade Boca da Mata está localizada às margens da MG-170. Uma estrada com intenso tráfego de veículos pesados devido a grande quantidade de indústrias exploradoras de calcário na região. Ou seja, o amostrador localizado na comunidade não capta apenas o particulado referente às atividades da CSN Cimentos. Há a contribuição de outras empresas vizinhas, e também do próprio fluxo de veículos, fatores estes que acabam aumentando a quantidade das partículas totais em suspensão.

Por sua vez, o Hi-Vol localizado a montante da mina está mais interno às dependências da CSN Cimentos e seus dados são mais fidedignos ao particulado emitido por esta empresa. Além disso, o amostrador é circundado por árvores, as quais acabam retendo o particulado antes dele ser succionado pelo amostrador.

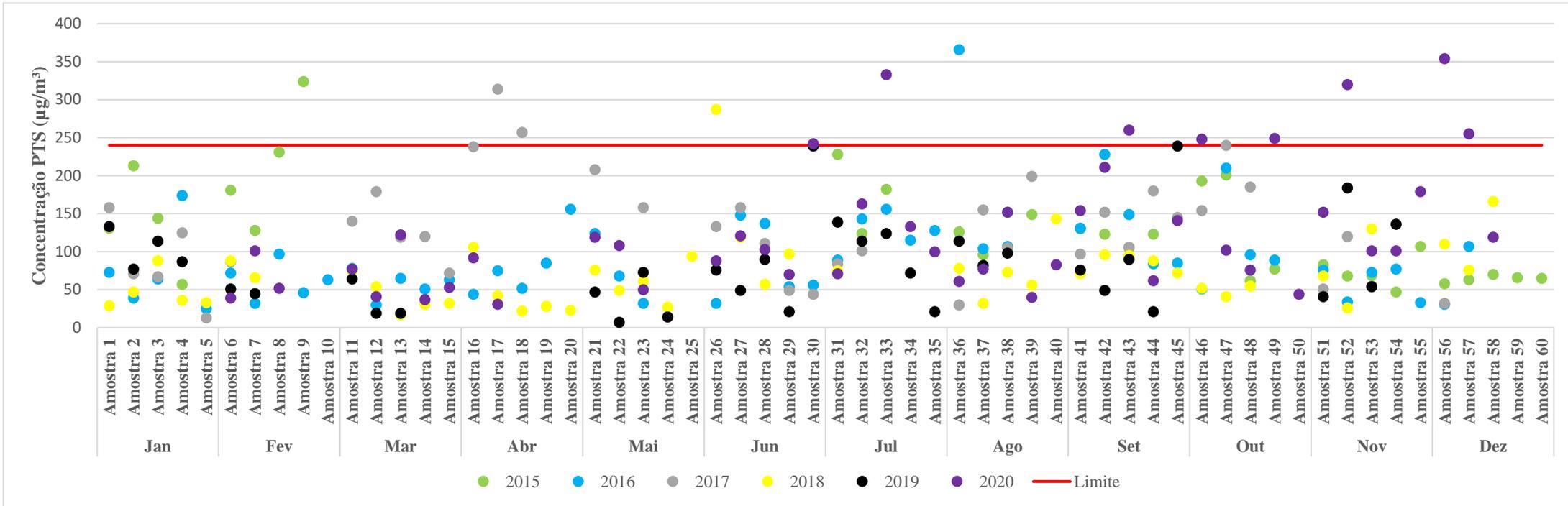
Outro ponto relevante na discussão é o fato de o amostrador a montante da mina estar localizado em um ponto mais elevado quando comparado ao Hi-Vol localizado na comunidade boca da mata. As partículas tendem a se depositar em pontos mais baixos, fato este que vem a agravar a diferença nas medidas dos dois amostradores.

Para efeito de comparação, foi estimado por meio do software *Google Earth* que o amostrador a montante da mina está cerca de 51 m acima do nível da mina. Por sua vez, o amostrador da comunidade Boca da Mata está cerca de 81 m abaixo do nível da mina. Dentre os dois amostradores a diferença é de 132 m.

De forma semelhante ao discutido para o Hi-Vol montante da mina, também nota-se para os dados coletados no Hi-Vol na comunidade Boca da Mata uma relação entre o período de estiagem e a alta na emissão do PTS. Desta vez, tal fato pode ser percebido com ainda mais facilidade. Dentre as 44 ocorrências acima do padrão, 39 (88,64%) foram observadas no período de estiagem.

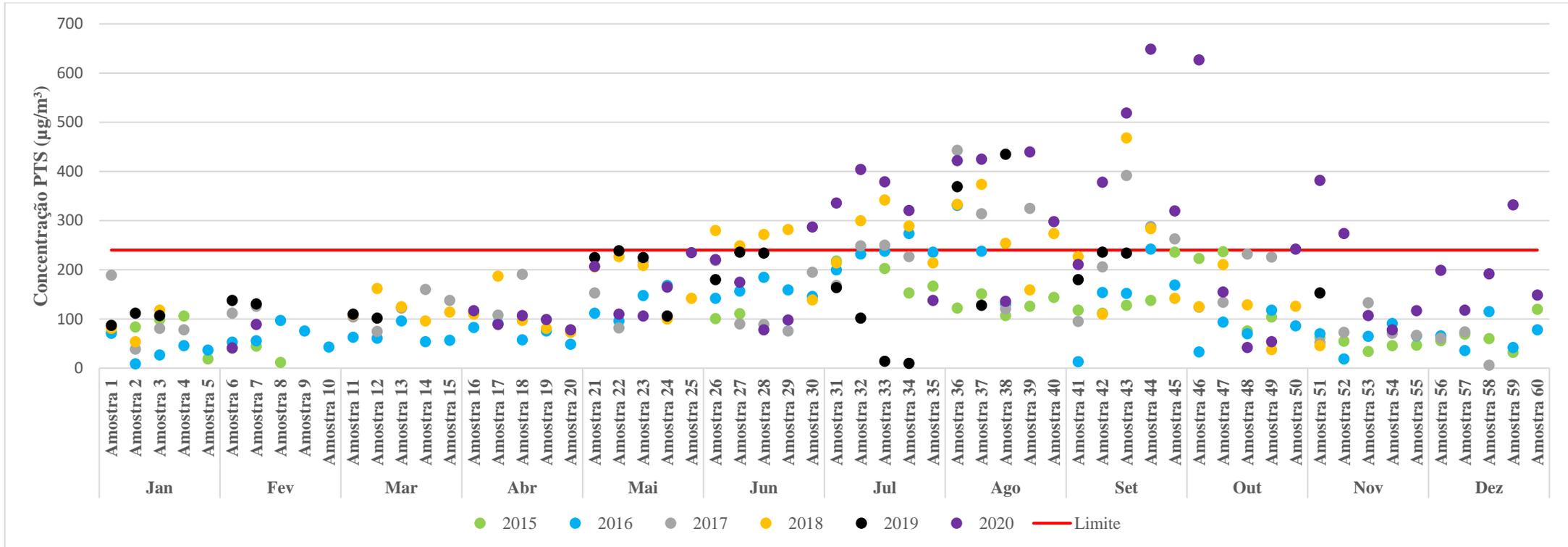
Novamente se observa que no período caracterizado pela seca, principalmente entre julho e setembro, as concentrações estão mais elevadas. Isso pode ser reafirmado pelo fato de no tempo chuvoso as vias receberem águas pluviais constantemente, fato este que diminui o material particulado em suspensão.

Figura 13 - Histórico do registro do monitoramento de PTS no amostrador Montante da Mina no período avaliado.



Fonte: Autor (2021)

Figura 14 - Histórico do registro do monitoramento de PTS no amostrador Comunidade Boca da Mata no período avaliado.



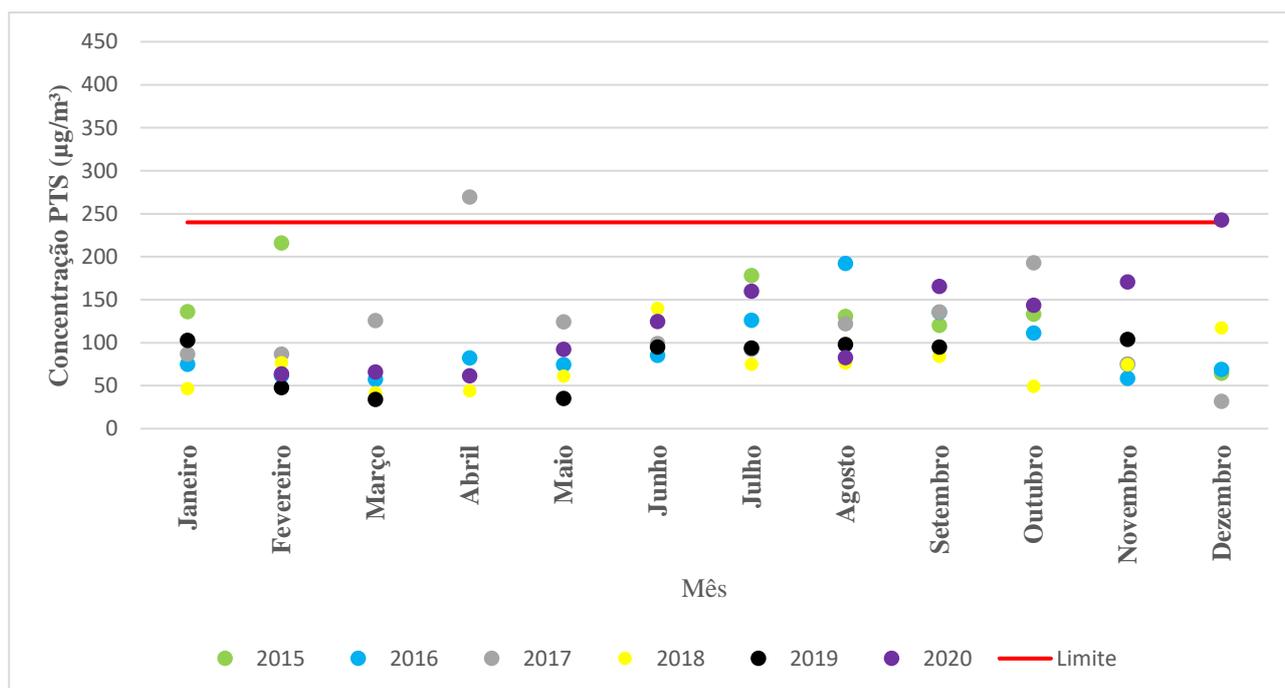
Fonte: Autor (2021)

5.2.2 Médias Aritméticas Mensais

A Figura 15 traz as médias aritméticas mensais para o amostrador a montante da mina, sendo que cada curva representa um ano monitorado. Há também uma linha de referência que denota para o limite de concentração permitido pelo CONAMA nº 491/2018.

Para este amostrador foram plotados 64 dados referentes aos meses. Pela Figura 15, pode-se perceber que em apenas dois meses a média ficou acima do permitido pelo CONAMA: abril de 2017 e dezembro de 2020. Ou seja, em apenas 3,13% das amostras o valor superou o padrão estabelecido. O polímero supressor de poeira já era utilizado em 50% das ocorrências em que a média aritmética mensal superou o valor máximo permitido por lei.

Figura 15 - Médias aritméticas mensais no amostrador a montante da mina.



Fonte: Autor (2021)

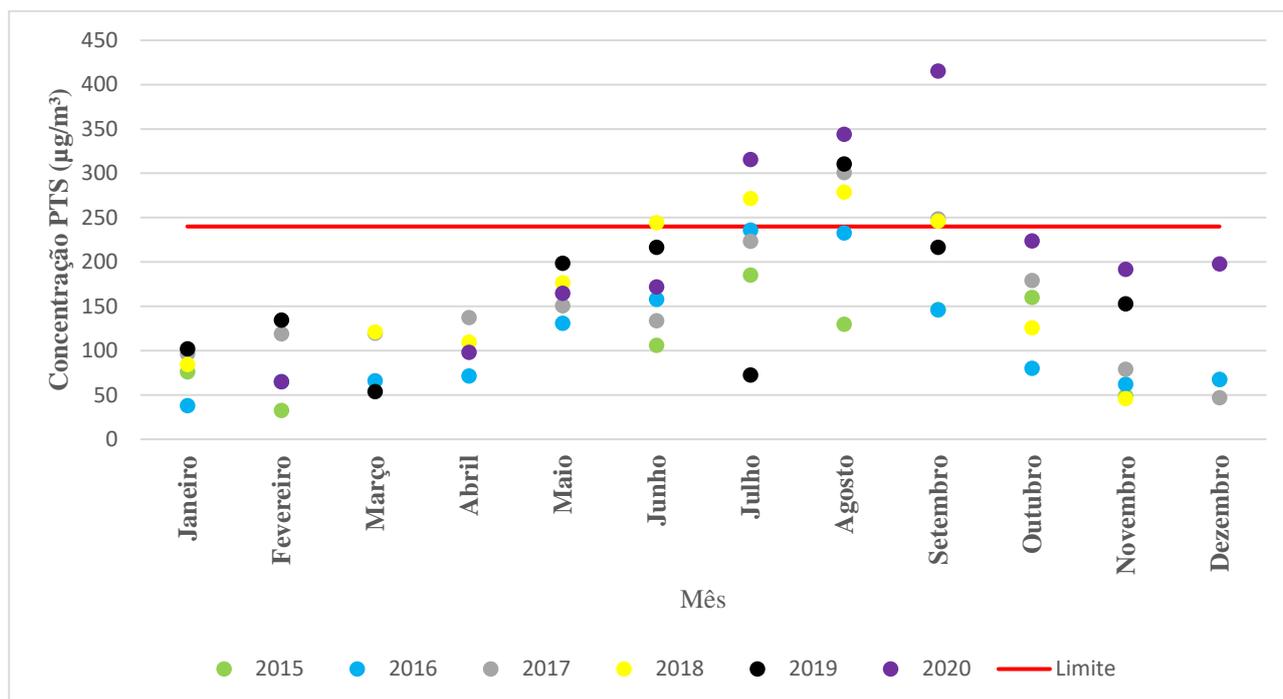
Após o tratamento dos dados do amostrador da comunidade Boca da Mata, pôde-se plotar o gráfico referenciado pela Figura 16.

Para o amostrador localizado na comunidade Boca da Mata foram plotados 62 dados referentes aos meses. Em dez meses a média ficou acima do permitido pelo CONAMA: agosto e setembro de 2017; junho, julho, agosto e setembro de 2018; agosto

de 2019; julho, agosto e setembro de 2020. Ou seja, em 16,13% das amostras o valor superou o padrão estabelecido. Importante ressaltar que todas as ocorrências de superação da legislação foram registradas no período de estiagem.

Em todos os meses que a média mensal dos dados coletados pelo amostrador superou o limite pré estabelecido, o Terrafix 22 já estava sendo usado pela CSN Cimentos para umectação de suas vias industriais.

Figura 16 - Médias aritméticas mensais amostrador comunidade Boca da Mata.

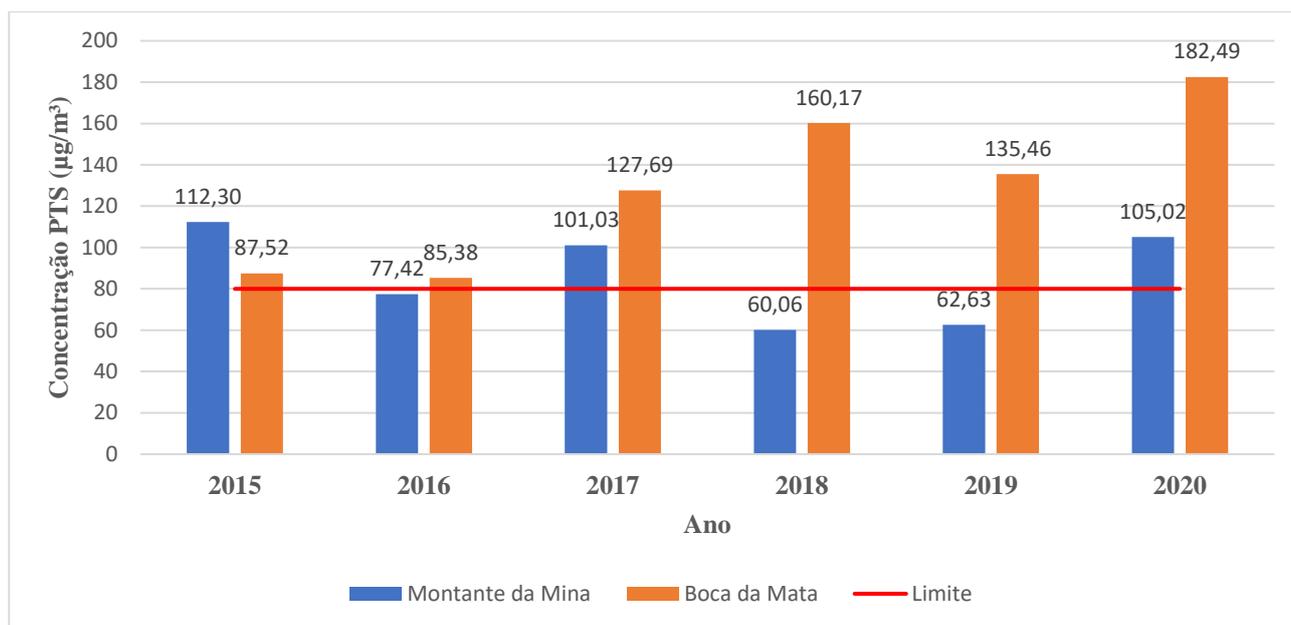


Fonte: Autor (2021)

5.2.3 Médias Geométricas Anuais

As médias geométricas anuais foram calculadas para efeito de comparação com o padrão de 80 µg/m³ estabelecido pelo CONAMA. A Figura 17 apresenta o gráfico das médias geométricas dos dois amostradores estudados, desde 2015 até 2020.

Figura 17 - Médias geométricas anuais para os amostradores monitorados.



Fonte: Autor (2021)

A partir da Figura 17, pode-se perceber que em todos os anos a média geométrica anual dos dados coletados pelo amostrador localizado na comunidade Boca da Mata excedeu o limite de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Já o amostrador localizado a montante da mina excedeu o limite nos anos de 2015, 2017 e 2020.

O fato de as médias geométricas anuais do amostrador da comunidade Boca da Mata estarem quase sempre maiores, e sempre excedendo o padrão ambiental, pode ser explicado ao se reforçar o fato de que ele sofre com a influência de particulado advindo de outras empresas e de veículos que trafegam na MG-170, aliado a estar 132 metros abaixo do amostrador a montante da mina (este último se refere ao particulado ser muito fino e se depositar em zonas mais baixas).

Percebe-se então que os residentes da comunidade estão expostos ao ar com qualidade inapropriada. Devido ao fato dela estar situada a beira da rodovia com intenso tráfego de veículos pesados, é de se esperar que outros parâmetros também não estejam adequados. Dentre eles: CO_x , NO_x , SO_x , etc.

O amostrador a montante da mina teve suas médias geométricas anuais diminuídas após a inserção periódica do polímero supressor de poeira. Se considerar que em 2017 as vias foram umectadas com o polímero apenas nos 5 meses finais, somente em 2020 sua média geométrica excedeu os $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.4 Coeficientes de Correlação de Pearson

Foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson buscando verificar a relação entre os dados dos dois amostradores. Foram três coeficientes de correlação de Pearson calculados: com base nos dados antes do início da umectação periódica com o Terrafix 22 (janeiro / 2015 a julho / 2017), com base nos dados posteriores a umectação periódica (agosto / 2017 a dezembro / 2020) e um coeficiente que correlaciona toda a população (janeiro 2015 a dezembro / 2020). Os coeficientes são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson.

| Período | Coeficiente de correlação de Pearson (r) |
|--------------------------------------|--|
| Pré umectação periódica com polímero | 0,42 |
| Pós umectação periódica com polímero | 0,28 |
| Dados população | 0,26 |

Fonte: Autor (2021)

O coeficiente da correlação de Pearson pode variar de -1 a 1. Sendo que, quanto mais próximo da unidade, maior é o grau de dependência estatística entre as variáveis. Por outro lado, quanto mais próximo a zero, menor é a força dessa dependência

Se o valor der negativo ($r < 0$), significa que as duas variáveis analisadas são inversamente relacionadas. Ou seja, se o valor de uma variável é baixo o outro é alto.

Se o coeficiente for igual a zero ($r = 0$) não é possível determinar qualquer senso de correlação entre as duas variáveis. Ou seja, não há nenhuma relação de linearidade entre elas.

No caso dos dois amostradores, o coeficiente foi positivo ($r > 0$). Isso significa que as variáveis são diretamente correlacionadas (quando o valor medido em um amostrador é alto, o valor amostrado no outro também tende a ser). Contudo, os valores estão mais próximos de zero do que de um.

De acordo com estudos de Callegari-Jacques (2009) o coeficiente pode ser interpretado conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Categorização dos valores do coeficiente de correlação de Pearson.

| Coeficiente de Correlação (r) | Classificação |
|-------------------------------|---------------|
| $r = 0$ | Nula |
| $0 < r \leq 0,3$ | Fraca |
| $0,3 < r \leq 0,6$ | Moderada |
| $0,6 < r \leq 0,9$ | Forte |
| $0,9 < r < 1$ | Muito Forte |
| $r = 1$ | Perfeita |

Fonte: Callegari-Jacques (2009)

Para o período de pré umectação periódica com polímero, o coeficiente foi igual a 0,42. Como pode ser visto na Tabela 5, a correlação entre as duas variáveis é classificada como moderada.

Para o período pós umectação periódica com polímero e para todos os dados da população, os coeficientes foram respectivamente 0,28 e 0,26. Conforme Tabela 4, a correlação entre os dois amostradores para esses dois períodos é caracterizada como fraca.

A explicação para a correlação ter tido valores baixos se deve ao fato de um dos amostradores estar localizado dentro da planta da CSN Cimentos (graças a isso a medição do particulado dele tende a ter relação apenas com a emissão de PTS interna da empresa) e ter uma vegetação arbórea ao seu redor, que pode influenciar no valor das medições. Por sua vez amostrador na comunidade Boca da Mata está localizado em uma área aberta, de menor nível. Recebendo, também, a emissão de particulado suspenso proveniente de veículos de grande porte que trafegam na MG-170 e de outras empresas cimenteiras e mineradoras presentes na região. Além disso, a atividade minerária de outras empresas calcárias também pode ajudar na emissão.

Ou seja, a correlação entre os dois amostradores tende a ser baixa pelo fato de um deles estar em uma área mais interna, protegida e de maior altitude e o outro estar em um ponto mais exposto. localizado em um ponto geográfico de menor altitude e recebendo uma maior influência externa às atividades da CSN Cimentos.

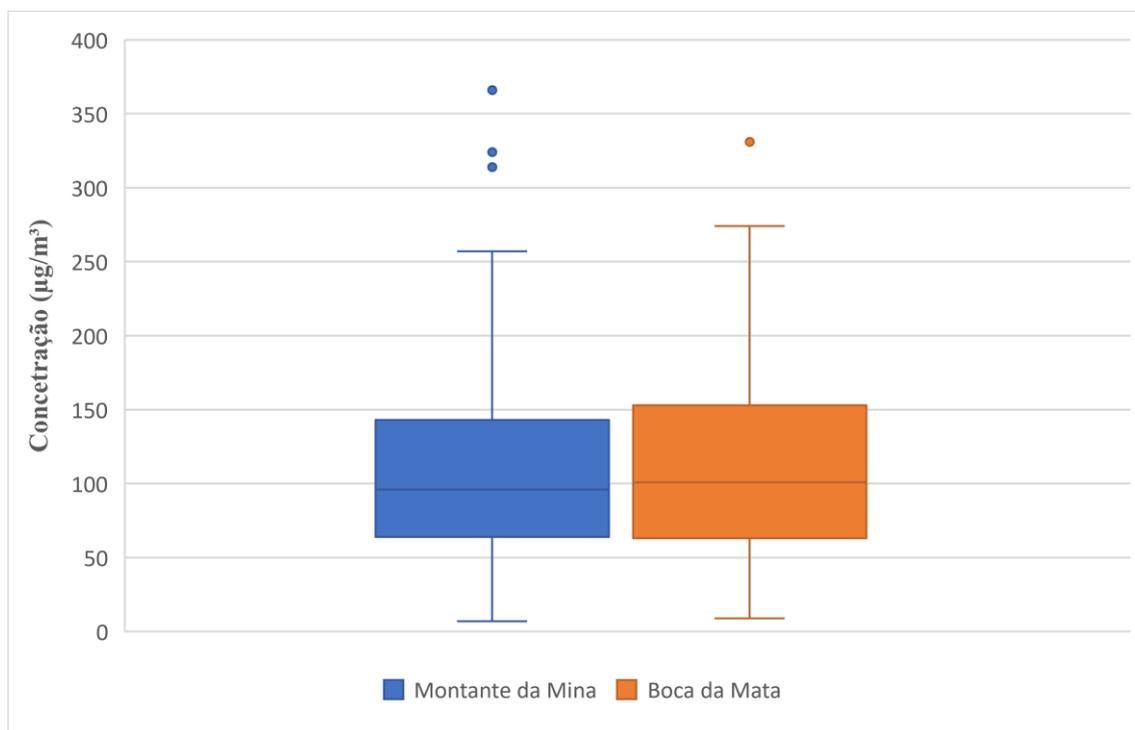
5.2.5 *Boxplots*

Foram plotados quatro boxplots para melhor caracterizar as populações dos dados estudados. Para ambos os amostradores, plotou-se um diagrama para a amostra pré

inserção do polímero na política interna da CSN Cimentos e um para a amostra depois do início da umectação com o Terrafix.

A Figura 18 traz os dois *boxplots* que representam os dados pré umectação com a solução aquosa de Terrafix 22.

Figura 18 - *Boxplots* dos dados pré utilização do polímero supressor de poeira.



Fonte: Autor (2021)

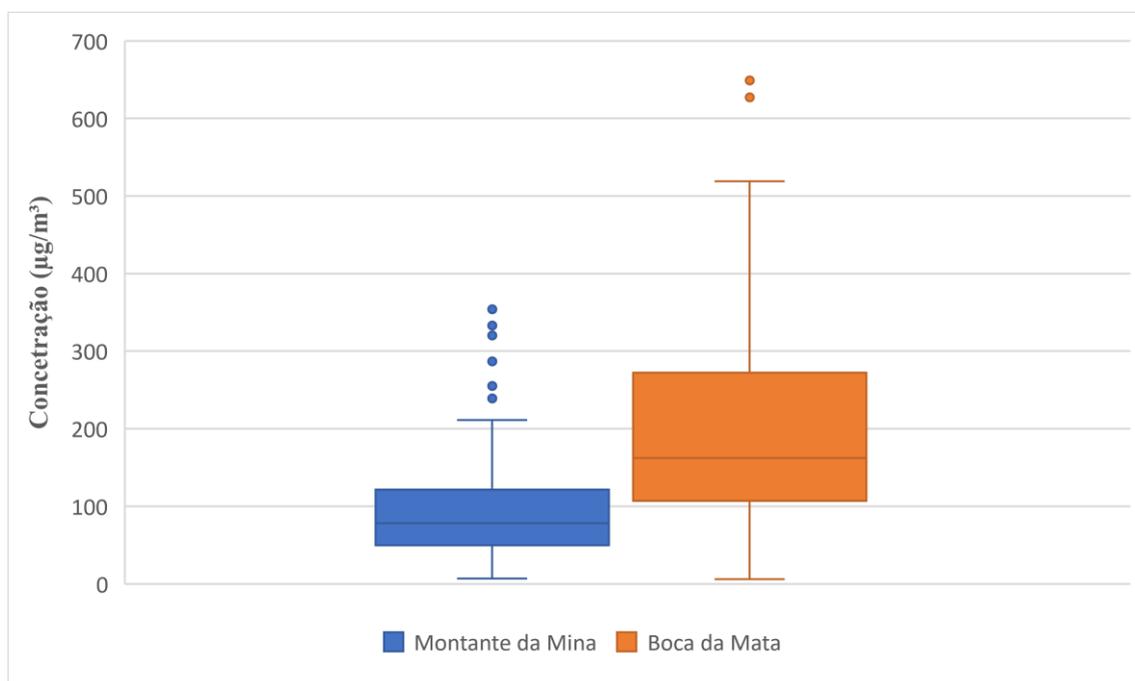
Após analisar a Figura 18, percebe-se que a amostra do Hi-Vol a montante da mina possui 3 *outliers* (dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros) localizados acima do limite superior, nos valores de 314, 324 e 366 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por sua vez, os dados do amostrador da comunidade Boca da Mata contam com apenas 1 *outlier*, o qual também está localizado acima do limite superior e conta com valor de 331 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analisando-se os dados obtidos para o amostrador a montante da mina antes do início do uso do Terrafix 22, percebe-se que cerca de 96,33% destes dados são inferiores ao limite de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Além disso, após estudar a Figura 18, observa-se que o diagrama do amostrador a montante da mina nos revela alguns pontos: nenhum dado esteve com concentração menor que 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 25% dos dados têm concentrações inferiores a 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 50% dos dados possuem concentrações inferiores a 96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 75% dos dados têm concentrações inferiores a 143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por sua vez, a análise dos dados do amostrador da comunidade Boca da Mata revela que cerca de 95,87% dos dados obtidos antes da umectação periódica com o polímero supressor de poeira estão abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 491/2018. Após estudos ao diagrama que representa os dados do amostrador da comunidade Boca da Mata, representado na Figura 18, pôde-se verificar o seguinte: todos os dados presentes no período estudado possuem concentração superior a $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 25% dos dados são menores que $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 50% dos dados têm concentrações inferiores a $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 75% dos dados têm concentrações menores que $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Figura 19 traz os dois *boxplots* com os dados pós início da umectação com a solução aquosa de Terrafix 22

Figura 19 - *Boxplots* dos dados pós utilização do polímero supressor de poeira.



Fonte: Autor (2021)

Após analisar a Figura 19, podemos ver a presença de 10 *outliers* acima do limite superior, nos valores de 239, 242, 248, 249, 255, 260, 287, 320, 333 e 354 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o diagrama que representa o amostrador localizado a montante da mina Bocaina. Já no diagrama que representa o amostrador na comunidade Boca da Mata, percebe-se apenas 2 *outliers*, também acima do limite superior, nos valores de 627 e 649 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Após o início da umectação das vias com o Terrafix 22, cerca de 93,71% dos dados amostrados estão abaixo dos 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pela análise da Figura 19, podemos ver que,

todos os dados do amostrador a montante da mina no período após início da umectação das vias com a solução aquosa de Terrafix 22, têm concentrações superiores a $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 25% dos dados têm concentrações inferiores a $49,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 50% dos dados possuem concentrações menores que $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 75% dos dados têm concentrações menores que $121,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para o amostrador localizado na comunidade Boca da Mata, os dados com concentrações menores que $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representam 71,53% da amostra. Ao observar o diagrama que se refere ao amostrador da comunidade Boca da Mata, presente na Figura 19, percebe-se que todos os dados têm concentrações superiores a $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 25% tem concentrações menores que $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 50% possuem concentrações inferiores a $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 75% dos dados têm concentrações menores que $272 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Após avaliar os resultados obtidos, pode-se notar que após a inserção do Terrafix 22 na rotina da CSN Cimentos, para o amostrador a montante da mina o percentual de dados abaixo dos $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diminuiu cerca de 2,62 pontos. Por sua vez, no amostrador localizado na comunidade Boca da Mata, o percentual diminuiu 24,34 pontos. Ou seja, o trabalho retrata o oposto daquilo que se é esperado.

Alguns aspectos devem ser levados em conta na discussão destes resultados. A demanda por cimento tem crescido cada vez mais, com a alta do setor das construções civis. Devido a isso, mais calcário tem de ser extraído e transformado em cimento. O cimento produzido tem que ser escoado das fábricas presentes na região, e para isso ele é transportado por frotas de caminhões de grande porte. Ou seja, as cimenteiras presentes ao entorno da comunidade Boca da Mata estão com uma alta produção e alto escoamento de produto final. A movimentação desse grande número de caminhões, transportando cargas pesadas gera a suspensão do particulado depositado no solo. Esse particulado suspenso chega até os amostradores.

Desde o período pós inserção do Terrafix 22, o aumento de dados fora do padrão ambiental foi mais significativo no amostrador da comunidade Boca da Mata devido a sua localização mais exposta às atividades de mineradoras e cimenteiras vizinhas da CSN Cimentos, às margens da rodovia MG-170, na qual se tem um fluxo intenso de caminhões carregados, ônibus e demais veículos que suspendem poeira na rodovia. Além disso, este amostrador está localizado em um ponto mais baixo quando comparado ao amostrador a montante da mina (cerca de 132 m de diferença). As partículas suspensas tendem a se depositar em pontos mais baixos. Ademais, a cortina arbórea ao redor do amostrador a

montante da mina tende a diminuir o resultado amostrado por este Hi-Vol quando comparado a um outro que fica em um campo aberto.

6 CONCLUSÕES

Após avaliação de todos os resultados obtidos neste trabalho, algumas conclusões acerca do tema foram tiradas. Começando pela análise granulométrica feita nas duas amostras de material particulado. Percebeu-se que, no geral, as partículas do material coletado no embarque ferroviário de fundentes (Amostra 2) apresentam diâmetros maiores que as partículas da Amostra 1, ao contrário do que era esperado.

Concluiu-se que a sazonalidade influi muito nos resultados. Nos períodos de estiagem, as concentrações do material particulado suspenso tendem a aumentar. Isso ocorre, pois, em épocas chuvosas a umectação das vias é feita pelos caminhões pipas e pelas chuvas frequentes, isso faz com que o solo fique molhado com mais frequência (minimizando a suspensão do particulado) e o particulado suspenso tende a se precipitar junto com a chuva. Já no período seco, apenas os caminhões pipas fazem a umectação, diminuindo assim a frequência que as vias são umectadas.

Comparando-se os dois amostradores estudados, pode-se perceber que o amostrador da comunidade Boca da Mata apresenta, frequentemente, resultados de concentração de PTS, maiores que os resultados apresentados pelo amostrador a montante da mina. Pela análise geral dos dados, verificou-se que para o amostrador a montante da mina, cerca de 5,16% da população de dados está acima dos $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No amostrador localizado na comunidade Boca da Mata, esse valor foi de 17,05%. Além disso, no amostrador da comunidade Boca da Mata, a média geométrica anual ultrapassa os $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecidos pelo CONAMA em todos os anos. Para o amostrador a montante da mina, o limite legal é superado em 2015, 2017 e 2020.

Tais fatos podem ser justificado pela localização dos amostradores. O amostrador a montante da mina está localizado em um ponto 132 m acima do amostrador da comunidade boca da mata, e, além disso, conta com uma cortina arbórea ao seu redor que acaba impedindo que o MP chegue todo ao amostrador. Por sua vez, o amostrador da comunidade Boca da Mata está em um ponto mais baixo, instalado em um campo aberto e às margens de uma rodovia com alto fluxo de veículos pesados que fazem a suspensão do material particulado. Além disso, o amostrador da comunidade Boca da Mata sofre com o particulado advindo de empresas vizinhas a CSN Cimentos. Concluiu-se também que a correlação entre os dois amostradores é baixa pelo fato de haver essa diferença

geográfica entre eles, e também pelo fato de as atividades das empresas vizinhas serem muito mais percebidas por um dos amostradores (comunidade Boca da Mata).

Outro ponto importante que pôde-se tirar de conclusão foi o fato de que o aumento na procura por cimento, e, conseqüentemente, maior fluxo de vendas da empresa estão diretamente relacionados com a emissão do particulado na região. Até meados de 2017, cerca de 3,67% dos dados do amostrador a montante da mina eram superiores ao limite estabelecido. Para o amostrador da comunidade Boca da Mata esse valor era de 4,13%. Com uma maior produção, e maior fluxo de caminhões escoando a mercadoria produzida, o PTS suspenso aumentou, e nos dados coletados do amostrador a montante da mina 6,29% excederam o limite legal. Para o amostrador da comunidade Boca da Mata esse valor chegou a 28,47%.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dando continuidade ao estudo, seria de grande valia fazer um trabalho com os caminhões pipas modificando a concentração da solução aquosa de Terrafix 22, para testar novas concentrações e eficácia do produto. Junto a isso, para fazer uma medição mais precisa do PTS suspenso, pode-se também alterar a localização do amostrador, colocando-o dentro da planta, onde há fluxo de veículos intenso para que o resultado das emissões não seja mascarado pela vegetação arbórea e pela localização do Hi-Vol.

Além disso, para a análise granulométrica das amostras de particulado, aconselha-se pesar a amostra total, o que foi retido e o passante na peneira de 230 mesh. Para que haja um resultado mais fiel a granulometria das partículas das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIN, H. et al. Effect of bark beetle infestation on secondary organic aerosol precursor emissions. **Environmental Science and Technology**, v. 46, p. 5696-5703, 2012.

ANCELET, T. et al. Carbonaceous aerosols in a Wood burning community in rural New Zealand. **Atmospheric Pollution Research**, v. 4, p. 245-249, 2013.

ASSIS Jr., T. et al. Redução na 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, ago./dez. 2016.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Cidades Sustentáveis. Poluentes atmosféricos. 2018. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acesso em 7 jun. 2021.

BRAUER D. A. et al. Evaluación de productos para el control de polvo ambiental en caminos mineros. **Minería y Geología**. v.35, n.2, p. 165-182, 2019.

BRITO, P. H. F. et al. Composição química do material particulado: Uma revisão de literatura. **HOLOS**, v. 3, 2018.

BUSATO, L. C.; GOBBO, P. R. S., Estudo de Impacto Ambiental da Ampliação da Mina Bocaina – CSN Arcos, 2020

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Tradução. [s.l.] Artmed Editora, 2009.

CETESB. Qualidade do Ar e poluentes. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em 31 de jul. 2021.

CONAMA, Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603. Acesso em 9 jun 2021.

CSNa. Essência, visão, missão e valores. Disponível em: <<https://www.csn.com.br/quem-somos/essencia-visao-missao-e-valores/>> Acesso em 9 jun. 2021.

CSNb. Histórico. Disponível em: < <https://www.csn.com.br/quem-somos/historico/>> Acesso em 9 jun. 2021.

CSNc. Relato Integrado 2020. Disponível em: <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/29633c00-23f7-4765-9594-926012179477/11ba6aab-0c6e-7193-f5ee-704ae30df488?origin=1>>

DAHER, N. et al. Chemical composition of size-resolved particulate matter at nearfreeway and urban background sites in the greater Beirut area. **Atmospheric Environment**, v. 80, p. 96-106, 2013.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. Tradução: Félix Nommembacher. Porto Alegre: AMGH, 2016

DE MENEZES, E. W.; CATALUNÃ, R. Amostragem de material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor diesel sem a utilização de túnel de diluição. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2027-2030, 2008.

DESHMUKH, D. K. et al. Water-soluble ionic composition of PM_{2.5-10} and PM_{2.5} aerosols in the lower troposphere of an industrial city Raipur, the eastern central India. **Air Quality, Atmosphere and Health**, v. 6, p. 95-110, 2013.

DOMINGOS, J. S. S. et al. A comprehensive and suitable method for determining major ions from atmospheric particulate matter matrices. **Journal of Chromatography A**, v. 1266, p. 17-23, 2012.

FERNANDES, J. S. et al. Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. **Revista Médica de Minas Gerais**, v. 20, p. 92-101, 2010.

FU, X. et al. Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze River Delta region, China. **Atmospheric Environment**, v. 70, p.39-59, 2013.

GUARIEIRO, L. L. N. et al. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, 2011.

HAN, L. et al. Global population exposed to fine particulate pollution by population increase and pollution expansion. **Air Quality, Atmosphere & Health**, 2017

HERNÁNDEZ, C. V. 2018: Control de polvo en minería: Tecnología, seguridad y eficiencia. *Construcción Minera* (nº4). Disponível em: <<https://extension.cchc.cl/datafiles/32870-2.pdf>> Acesso em 5 jul. 2021.

KAMP, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 362-367, 2008.

LÓPEZ-CHEGNE, V. A. 2012: Soluciones anti polvo y lodo. *Seguridad minera*, 58. Disponível em: <<http://revistaseguridadminera.com/salud-ocupacional/soluciones-anti-polvo-y-lodo/>> Acesso em 5 jul. 2021.

MARTINS, S. M. de A. et al. Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoelétrica, Rio Grande do Sul, Brasil. **Hoehnea**, Porto Alegre, p. 425-433, 2008.

MAURY, M.B.; BLUMENSCHHEIN, R.N. Produção de cimento: impactos á saúde e ao meio ambiente. São Paulo, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12110/1/ARTIGO_ProducaoCimentoImpacto.pdf>. Acesso em 5 jul. 2021.

MELLER, G. et al. **Controle da poluição**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

MIRANTE, F. et al. Organic composition of size segregated atmospheric particulate matter, during Summer and winter sampling campaigns at representative sites in Madrid, Spain. **Atmospheric Research**, v. 132-133, p. 345-361, 2013.

MOLINA Jr., A. et al. Projeto de monitoramento da qualidade do ar em porto alegre, Porto Alegre: **ISBN**, 2013.

MURILLO, J. H. et al. Chemical characterization and source apportionment of PM10 and PM2,5 in the metropolitan area of Costa Rica, Central America. **Atmospheric Pollution Research**, v. 4, p. 181-190, 2013

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. OECD: 2011.

OVALLE-CÁRDENAS, E. F. 2014: Estabilización química de los bordes de un terraplén erosionados por escorrentías. Tesis de pregrado. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Disponível em: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmficio.96p/doc/bmficio.96p.pdf>. Acesso em 5 jul. 2021

QUEIROZ, P. G. M. et al. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p.1233-1239, 2007.

RADA-JAMAN, R. Control de polvo: lo barato cuesta caro. Nueva Minería y Energía, 25 de abril. Disponível em: <http://www.nuevamineria.com/revista/control-de-polvo-lo-barato-cuesta-carro/>. Acesso em 5 jul. 2021.

REGGENTE, M. et al. A comparison of strategies for estimation of ultrafine particle number concentrations in urban air pollution monitoring networks. *Environmental Pollution* 2015, 199, 209.

RENAULT, R. H. C. et al., Projeto Coprocessamento e Unidade de Mistura e Pré-Condicionamento de Resíduos Para Coprocessamento em Fornos de Clínquer, 2017.

SANTOS dos, M. A. **Poluição do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017.

SOUZA, P. A. de. et al. 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.

TAPIA, D. 2017: Control de polvo en minería: A la vanguardia en procesos y tecnología. Nueva Minería y Energía, 7 de mayo. Disponível em: <<http://www.nuevamineria.com/revista/control-de-polvo-en-mineria-a-la-vanguardia-en-procesos-y-tecnologia/>>. Acesso em 5 jul. 2021.

VERGARA-RAVANAL, R. A. 2011: **Estabilización y control de polvo con bischofita (cloruro de magnesio hexahidratado)**. Tesis de pregrado. Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile.

VORMITTAG, E. M. P. A. A. et al. Avaliação dos impactos da poluição atmosférica no Estado do Rio de Janeiro sob a visão da saúde. São Paulo. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2013. Disponível em: <https://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2014/10/Poluicao-RJ_FINAL.pdf>. Acesso em: 9 Jun 2021.

WATERFLOWS. Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ TERRAFIX 22. Versão 2. 2019.

WHO - World Health Organization. 7 million premature death annually linked to air pollution. Geneva: WHO, 2014.

WILSON, W. E.; SUH, H. H. Fine and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. **JAWMA**, v47, p.1238-1249, 1997.

ZHANG, R. Role of photoexcited nitrogen dioxide chemistry on ozone formation and emission control strategy over the Pearl River Delta, China. **Atmospheric Research**, v.132-133, p. 332-344, 2013.

Apêndice I

Tabela A.1 - Análise granulométrica solo com presença de Terrafix 22.

| Di (μm) | xi (%) | Xi (%) |
|----------------------|--------|--------|
| 76,00 | 0,00 | 100,00 |
| 66,90 | 0,36 | 99,64 |
| 58,90 | 1,45 | 98,19 |
| 51,80 | 2,56 | 95,63 |
| 45,60 | 3,74 | 91,89 |
| 40,10 | 4,93 | 86,96 |
| 35,30 | 5,87 | 81,09 |
| 31,10 | 6,58 | 74,51 |
| 27,40 | 7,06 | 67,45 |
| 24,10 | 7,38 | 60,07 |
| 21,20 | 7,37 | 52,70 |
| 18,70 | 6,99 | 45,71 |
| 16,40 | 6,91 | 38,80 |
| 14,50 | 5,98 | 32,82 |
| 12,70 | 5,80 | 27,02 |
| 11,20 | 4,85 | 22,17 |
| 9,86 | 4,24 | 17,93 |
| 8,68 | 3,58 | 14,35 |
| 7,64 | 2,96 | 11,39 |
| 6,72 | 2,40 | 8,99 |
| 5,92 | 1,88 | 7,11 |
| 5,21 | 1,48 | 5,63 |
| 4,58 | 1,15 | 4,48 |
| 4,03 | 0,87 | 3,61 |
| 3,55 | 0,66 | 2,95 |
| 3,12 | 0,52 | 2,43 |
| 2,75 | 0,40 | 2,03 |
| 2,42 | 0,33 | 1,70 |
| 2,13 | 0,28 | 1,42 |
| 1,88 | 0,25 | 1,17 |
| Continuação | | |
| 1,65 | 0,26 | 0,91 |

| | | |
|------|------|------|
| 1,45 | 0,26 | 0,65 |
| 1,28 | 0,24 | 0,41 |
| 1,13 | 0,21 | 0,20 |
| 0,99 | 0,16 | 0,04 |
| 0,87 | 0,04 | 0,00 |

Tabela A.2 - Análise granulométrica solo sem presença de Terrafix 22.

| Di (µm) | xi (%) | Xi (%) |
|---------|--------|--------|
| 86,40 | 0,00 | 100,00 |
| 76,00 | 0,15 | 99,85 |
| 66,90 | 1,08 | 98,77 |
| 58,90 | 2,03 | 96,74 |
| 51,80 | 3,16 | 93,58 |
| 45,60 | 4,29 | 89,29 |
| 40,10 | 5,41 | 83,88 |
| 35,30 | 6,25 | 77,63 |
| 31,10 | 6,86 | 70,77 |
| 27,40 | 7,23 | 63,54 |
| 24,10 | 7,41 | 56,13 |
| 21,20 | 7,23 | 48,90 |
| 18,70 | 6,69 | 42,21 |
| 16,40 | 6,42 | 35,79 |
| 14,50 | 5,37 | 30,42 |
| 12,70 | 5,03 | 25,39 |
| 11,20 | 4,04 | 21,35 |
| 9,86 | 3,42 | 17,93 |
| 8,68 | 2,81 | 15,12 |
| 7,64 | 2,29 | 12,83 |
| 6,72 | 1,87 | 10,96 |
| 5,92 | 1,51 | 9,45 |
| 5,21 | 1,27 | 8,18 |

Continuação

| | | |
|------|------|------|
| 4,58 | 1,09 | 7,09 |
|------|------|------|

| | | |
|------|------|------|
| 4,03 | 0,95 | 6,14 |
| 3,55 | 0,86 | 5,28 |
| 3,12 | 0,80 | 4,48 |
| 2,75 | 0,72 | 3,76 |
| 2,42 | 0,67 | 3,09 |
| 2,13 | 0,61 | 2,48 |
| 1,88 | 0,55 | 1,93 |
| 1,65 | 0,52 | 1,41 |
| 1,45 | 0,46 | 0,95 |
| 1,28 | 0,38 | 0,57 |
| 1,13 | 0,29 | 0,28 |
| 0,99 | 0,20 | 0,08 |
| 0,87 | 0,08 | 0,00 |

Apêndice II

Tabela A.3 - Dados amostrador ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Montante da mina.

| | | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | Amostra 1 | 131 | 73 | 158 | 29 | 133 | |
| | Amostra 2 | 213 | 39 | 71 | 47 | 77 | |
| Jan | Amostra 3 | 144 | 64 | 67 | 88 | 114 | |
| | Amostra 4 | 57 | 174 | 125 | 36 | 87 | |
| | Amostra 5 | | 25 | 13 | 33 | | |
| | Amostra 6 | 181 | 72 | 87 | 88 | 51 | 39 |
| | Amostra 7 | 128 | 32 | | 66 | 45 | 101 |
| Fev | Amostra 8 | 231 | 97 | | | | 52 |
| | Amostra 9 | 324 | 46 | | | | |
| | Amostra 10 | | 63 | | | | |
| | Amostra 11 | | 78 | 140 | 75 | 64 | 77 |
| | Amostra 12 | | 30 | 179 | 54 | 19 | 41 |
| Mar | Amostra 13 | | 65 | 119 | 17 | 19 | 122 |
| | Amostra 14 | | 51 | 120 | 31 | | 37 |
| | Amostra 15 | | 63 | 72 | 32 | | 53 |
| | Amostra 16 | | 44 | 238 | 106 | | 92 |
| | Amostra 17 | | 75 | 314 | 42 | | 31 |
| Abr | Amostra 18 | | 52 | 257 | 22 | | |
| | Amostra 19 | | 85 | | 28 | | |
| | Amostra 20 | | 156 | | 23 | | |
| | Amostra 21 | | 124 | 208 | 76 | 47 | 119 |
| | Amostra 22 | | 68 | 7 | 49 | 7 | 108 |
| Mai | Amostra 23 | | 32 | 158 | 61 | 73 | 50 |
| | Amostra 24 | | | | 27 | 14 | |
| | Amostra 25 | | | | 94 | | |
| | Amostra 26 | | 32 | 133 | 287 | 76 | 88 |
| | Amostra 27 | | 148 | 158 | 119 | 49 | 121 |
| Jun | Amostra 28 | | 137 | 111 | 57 | 90 | 103 |
| | Amostra 29 | | 54 | 49 | 97 | 21 | 70 |
| | Amostra 30 | | 56 | 44 | | 239 | 242 |
| Continuação | | | | | | | |
| Jul | Amostra 31 | 228 | 89 | 84 | 75 | 139 | 71 |

| | | | | | | | |
|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Amostra 32 | 124 | 143 | 101 | | 114 | 163 |
| | Amostra 33 | 182 | 156 | | | 124 | 333 |
| | Amostra 34 | | 115 | | | 72 | 133 |
| | Amostra 35 | | 128 | | | 21 | 100 |
| | Amostra 36 | 126 | 366 | 30 | 78 | 114 | 61 |
| | Amostra 37 | 96 | 104 | 155 | 32 | 82 | 77 |
| Ago | Amostra 38 | 152 | 107 | 105 | 73 | 98 | 152 |
| | Amostra 39 | 149 | | 199 | 56 | | 40 |
| | Amostra 40 | | | | 143 | | 83 |
| | Amostra 41 | 130 | 131 | 97 | 71 | 76 | 154 |
| | Amostra 42 | 123 | 228 | 152 | 96 | 49 | 211 |
| Set | Amostra 43 | 105 | 149 | 106 | 95 | 90 | 260 |
| | Amostra 44 | 123 | 84 | 180 | 88 | 21 | 62 |
| | Amostra 45 | | 85 | 145 | 72 | 239 | 141 |
| | Amostra 46 | 193 | 51 | 154 | 52 | | 248 |
| | Amostra 47 | 201 | 210 | 240 | 41 | | 102 |
| Out | Amostra 48 | 62 | 96 | 185 | 55 | | 76 |
| | Amostra 49 | 77 | 89 | | | | 249 |
| | Amostra 50 | | | | | | 44 |
| | Amostra 51 | 83 | 76 | 51 | 68 | 41 | 152 |
| | Amostra 52 | 68 | 34 | 120 | 26 | 184 | 320 |
| Nov | Amostra 53 | 69 | 73 | 55 | 130 | 54 | 101 |
| | Amostra 54 | 47 | 77 | | | 136 | 101 |
| | Amostra 55 | 107 | 33 | | | | 179 |
| | Amostra 56 | 58 | 31 | 32 | 110 | | 354 |
| | Amostra 57 | 63 | 107 | | 76 | | 255 |
| Dez | Amostra 58 | 70 | | | 166 | | 119 |
| | Amostra 59 | 66 | | | | | |
| | Amostra 60 | 65 | | | | | |

Tabela A.4 - Dados amostrador ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) comunidade Boca da Mata

| | | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-----|------------|------|------|------|------|------|------|
| | Amostra 1 | 73 | 71 | 189 | 81 | 87 | |
| | Amostra 2 | 84 | 9 | 39 | 54 | 112 | |
| Jan | Amostra 3 | 99 | 27 | 81 | 118 | 107 | |
| | Amostra 4 | 106 | 46 | 78 | | | |
| | Amostra 5 | 19 | 37 | | | | |
| | Amostra 6 | 41 | 53 | 112 | | 138 | 41 |
| | Amostra 7 | 45 | 56 | 126 | | 131 | 89 |
| Fev | Amostra 8 | 12 | 97 | | | | |
| | Amostra 9 | | 76 | | | | |
| | Amostra 10 | | 43 | | | | |
| | Amostra 11 | | 63 | 104 | 109 | 110 | |
| | Amostra 12 | | 61 | 75 | 162 | 102 | |
| Mar | Amostra 13 | | 96 | 122 | 125 | | |
| | Amostra 14 | | 54 | 160 | 96 | | |
| | Amostra 15 | | 57 | 138 | 114 | | |
| | Amostra 16 | | 83 | 113 | 110 | | 117 |
| | Amostra 17 | | 91 | 108 | 187 | | 89 |
| Abr | Amostra 18 | | 58 | 191 | 97 | | 107 |
| | Amostra 19 | | 76 | | 81 | | 99 |
| | Amostra 20 | | 49 | | 73 | | 78 |
| | Amostra 21 | | 112 | 153 | 206 | 225 | 207 |
| | Amostra 22 | | 96 | 82 | 227 | 239 | 110 |
| Mai | Amostra 23 | | 148 | 217 | 209 | 225 | 106 |
| | Amostra 24 | | 168 | | 100 | 106 | 165 |
| | Amostra 25 | | | | 142 | | 235 |
| | Amostra 26 | 101 | 142 | 219 | 280 | 180 | 221 |
| | Amostra 27 | 111 | 157 | 90 | 249 | 236 | 175 |
| Jun | Amostra 28 | | 185 | 89 | 272 | 234 | 78 |
| | Amostra 29 | | 159 | 76 | 282 | | 98 |
| | Amostra 30 | | 146 | 195 | 139 | | 287 |
| Jul | Amostra 31 | 218 | 200 | 168 | 214 | 164 | 336 |

Continuação

| | | | | | | | |
|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Amostra 32 | | 232 | 249 | 300 | 102 | 404 |
| | Amostra 33 | 203 | 238 | 250 | 342 | 14 | 379 |
| | Amostra 34 | 153 | 274 | 227 | 289 | 10 | 321 |
| | Amostra 35 | 167 | 236 | | 214 | | 138 |
| | Amostra 36 | 122 | 331 | 443 | 333 | 369 | 422 |
| | Amostra 37 | 151 | 238 | 314 | 374 | 128 | 425 |
| Ago | Amostra 38 | 107 | 130 | 121 | 254 | 435 | 136 |
| | Amostra 39 | 126 | | 325 | 159 | | 440 |
| | Amostra 40 | 144 | | | 274 | | 298 |
| | Amostra 41 | 118 | 13 | 95 | 227 | 180 | 211 |
| | Amostra 42 | 112 | 154 | 206 | 110 | 236 | 378 |
| Set | Amostra 43 | 128 | 152 | 392 | 468 | 234 | 519 |
| | Amostra 44 | 138 | 242 | 288 | 284 | | 649 |
| | Amostra 45 | 236 | 169 | 263 | 142 | | 320 |
| | Amostra 46 | 223 | 33 | 124 | 125 | | 627 |
| | Amostra 47 | 237 | 94 | 134 | 211 | | 155 |
| Out | Amostra 48 | 76 | 70 | 232 | 129 | | 42 |
| | Amostra 49 | 104 | 118 | 226 | 38 | | 54 |
| | Amostra 50 | | 86 | | 126 | | 242 |
| | Amostra 51 | 62 | 70 | 52 | 46 | 153 | 382 |
| | Amostra 52 | 55 | 19 | 73 | | | 274 |
| Nov | Amostra 53 | 34 | 65 | 133 | | | 107 |
| | Amostra 54 | 46 | 91 | 71 | | | 78 |
| | Amostra 55 | 47 | 66 | 67 | | | 117 |
| | Amostra 56 | 56 | 66 | 61 | | | 199 |
| | Amostra 57 | 69 | 36 | 74 | | | 118 |
| Dez | Amostra 58 | 60 | 115 | 6 | | | 192 |
| | Amostra 59 | 32 | 42 | | | | 332 |
| | Amostra 60 | 120 | 78 | | | | 149 |
