

**Mestrado Profissional**  
**Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais**

**MARCOS VINÍCIUS SAMPAIO BORBA**

**AVALIAÇÃO DO USO DE DIFERENTES TIPOS DE POLÍMEROS DE  
PÓ NO CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DURANTE O  
TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO NA EFVM - ESTRADA DE  
FERRO VITÓRIA A MINAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador: Paulo Antônio de Soza Júnior, Dra.

**Belém-PA**

**2017**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Biblioteca do ITV – Belém-PA**

B726a

Borba, Marcos Vinicius Sampaio

Avaliação do uso de diferentes tipos de polímeros  
supressores de pó no controle de emissões atmosféricas durante  
o transporte de minério de ferro na EFVM - estrada de ferro  
vitória a minas / Regina de Oliveira Meirelles. -- Belém-PA, 2017.

---- f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2017.

Orientador(a): Prof. Paulo Antônio de Souza Júnior.

1. Arraste eólico. 2. Ferrovia. 3. Supressores de pó. Título.

CDD 23. ed. 621.45

**MARCOS VINÍCIUS SAMPAIO BORBA**

**AVALIAÇÃO DO USO DE DIFERENTES TIPOS DE POLÍMEROS SUPRESSORES DE PÓ NO CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DURANTE O TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO NA EFVM - ESTRADA DE FERRO VITÓRIA A MINAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

---

**Dr. Paulo Antônio de Souza Júnior**

Orientador – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)

---

**Dr. Gustavo Pessin**

Membro interno – Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS)

---

**Dr. Gutemberg Hespanha Brasil**

Membro externo – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à VALE e ao Instituto Tecnológico VALE – Desenvolvimento Sustentável pela oportunidade e infraestrutura oferecidas.

Obrigado também aos colaboradores e professores do ITV-DS, que nos proporcionaram um ambiente favorável e propício para a aquisição e compartilhamento de conhecimentos.

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo de Souza, que, além de um profissional inspirador e admirável, compartilhou seus conhecimentos, orientando esta pesquisa em todo o tempo.

Obrigado ao Prof. Dr. Eloi Alves da Silva Filho, da UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, juntamente com sua equipe, pelo apoio e disponibilidade durante os experimentos deste trabalho.

Agradeço aos colegas da Vale: Alaimar Fiuza pela oportunidade, Sérgio Melo pelo apoio logístico, Rafael Valadares, Renata Frank e Katilene Nunes, pelo apoio técnico.

Agradeço à minha esposa Roberta e meus filhos Pedro Henrique e Isabela pelo incentivo e compreensão da minha ausência em momento de viagem à Belém.

Agradecimento maior ao Criador, que, pelo seu amor incondicional, tem conduzido minha vida.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diversos produtos supressores de pó presentes no mercado, por meio da realização de simulação do arraste de partículas de minério através de teste no equipamento chamado Túnel de Vento de propriedade da VALE, com o uso de um vagão teste em miniatura e um simulador de vento, vibração e luz solar. Para desenvolvimento da pesquisa, preparou-se uma solução de 100g de polímero supressor de poeira, sendo aspergida na pilha de minério do carregamento do vagão miniatura. Avaliou-se o aspecto da pilha de minério formada no vagão, a perda de massa e umidade após 6 h do início do teste. Dentre os polímeros avaliados verificou-se que o polímero produzido pelo processo de reciclagem química do Polietileno Tereftalato (PET), desenvolvido por meio de pesquisa realizada pela VALE em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), (Patentes: BR 10 2014 029870-3 e BR 10 2015 027113-1), foi o que apresentou melhores resultados custo/benefício. Mostrou-se um produto de imenso potencial, que pode gerar uma grande economia para a empresa, tendo em vista que pode colaborar para a destinação sustentável de parte do resíduo plástico gerado no Complexo de Tubarão em Vitória - ES e em outras unidades da VALE. Além disso, pode contribuir para a diminuição das emissões atmosféricas geradas pelo transporte de minério de ferro na Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM).

Palavras-chave: Arraste Eólico; Ferrovia; Supressores de Pó.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to evaluate the efficiency of various dust suppressor products on the market by conducting simulation of ore particle entrainment by testing the equipment known as the VALE Wind Tunnel, using a miniature train wagon, wind simulator, vibration and sunlight. For the development of the research, a solution of 100g of dust suppressor polymer was prepared, being sprayed on the ore load cell of the miniature car. It was evaluated the appearance of the pile of ore formed in the wagon, the loss of mass and humidity after 6 h of the beginning of the test.

Among the evaluated polymers it was verified that the polymer produced by the chemical recycling process of Polyethylene Terephthalate (PET), developed through a research carried out by VALE in partnership with Federal University of Espírito Santo (UFES), (Patent: BR 10 2014 029870-3 end BR 10 2015 027113-1), was the one that presented the best cost-benefit. It has proved to be a product of immense potential, which can generate great savings for the company, since it can contribute to the sustainable destination of part of the plastic residue generated at the Tubarão Complex in Vitória, ES and other VALE units. In addition, it can contribute to the reduction of the atmospheric emissions generated by the transport of iron ore in the Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM).

Keywords: Drag Wind; Railroad; Dust Suppressors.

## LISTA DE SIGLAS

EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas

OMS – Organização Mundial de Saúde

Tku - Tonelada-Quilômetro Útil – Unidade de medida equivalente ao transporte de uma tonelada útil a distância de um quilômetro.

MP – Material Particulado

PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> - Sigla, em inglês, utilizada para descrever a granulometria da matéria particulada em suspensão na atmosfera. O PM<sub>2,5</sub> é formado por partículas cujo tamanho chega até 2,5 micrômetros (µm). Já o PM<sub>10</sub>, com partículas de tamanho entre 2,5 e 10 micrômetros (µm).

RH – Anteriormente conhecida como Relay House e hoje identificada como abrigo de equipamentos eletrônicos.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

PET - Polietileno tereftalato.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Principais mercadorias transportadas em 2010 pelas malhas ferroviárias concedidas (percentual calculado sobre a produção de transporte em tku) .....	11
<b>Figura 2:</b> Diferentes tipos de fontes emissoras de poluentes .....	17
<b>Figura 3:</b> Detalhe da área de abrangência da EFVM .....	25
<b>Figura 4:</b> Minério transportado na EFVM (2013 – 2016) .....	27
<b>Figura 5:</b> Locomotiva da EFVM .....	29
<b>Figura 6:</b> Detalhe dos vagões de minério da EFVM, Governador Valadares, MG. ...	30
<b>Figura 7:</b> Máquina desguarnecedora da EFVM.....	31
<b>Figura 8:</b> Ciclone da Oficina de Vagões - Complexo de Tubarão.....	33
<b>Figura 9:</b> Filtro de Manga do Areeiro - Oficina de Vagões .....	34
<b>Figura 10:</b> Filtro de manga da cabine de jateamento de granalha .....	34
<b>Figura 11:</b> Lavadores de gases da cabine de pintura da Oficina de Locomotivas....	35
<b>Figura 12:</b> Localização dos aspersores de vagões .....	36
<b>Figura 13:</b> Parte da película formada no minério pela aspensão com polímero .....	38
<b>Figura 14:</b> Parte da película formada no carvão pela aspensão com polímero .....	38
<b>Figura 15:</b> Esquema do sistema de aspensão .....	39
<b>Figura 16:</b> Aspersor de Resplendor, MG .....	39
<b>Figura 17:</b> Aspensão no Pátio de Estocagem de Tubarão, ES .....	40
<b>Figura 18:</b> Rede de monitoramento atmosférico da EFVM .....	41
<b>Figura 19:</b> Evolução de resultados da média geométrica anual PTS .....	42
<b>Figura 20:</b> Evolução resultados média anual PM <sub>10</sub> .....	43
<b>Figura 21:</b> Tipos de dados e variáveis em um modelo geral de processo/sistema ..	44
<b>Figura 22:</b> Esquema do Túnel de Vento da VALE S.A. ....	48

<b>Figura 23:</b> Modelo de vagão utilizado no experimento (43,0 x 11,5 x 10,0 cm) .....	50
<b>Figura 24:</b> Túnel de Vento .....	51
<b>Figura 25:</b> Túnel de Vento .....	51
<b>Figura 26:</b> Utensílios para realização dos testes no Túnel de Vento.....	53
<b>Figura 27:</b> Utensílios para realização dos testes no Túnel de Vento.....	53
<b>Figura 28:</b> Vagão carregado com minério (43,0 x 11,5 x 10,0 cm).....	57
<b>Figura 29:</b> Vagão carregado com minério .....	58
<b>Figura 30:</b> Detalhe das lâmpadas utilizadas para simular luz solar .....	58
<b>Figura 31:</b> Detalhe do vagão cheio de minério .....	59
<b>Figura 32:</b> Balança Marca SHIMADZU, modelo UX6200H .....	61
<b>Figura 33:</b> Perda de umidade para cada uma das amostras avaliadas.....	80
<b>Figura 34:</b> Balanço de massa por umidade após 12h de teste (%) .....	82
<b>Figura 35:</b> Perda de minério seco após 12 <sup>a</sup> hora de teste (g) .....	83
<b>Figura 36:</b> Perda de umidade a uma concentração de 2,0% .....	84
<b>Figura 37:</b> Perda de massa a uma concentração de 2,0%.....	84
<b>Figura 38:</b> Perda de umidade a uma concentração de 1,0% .....	85
<b>Figura 39:</b> Perda de umidade a uma concentração de 0,5% .....	86
<b>Figura 40:</b> Perda de massa a uma concentração de 0,5%.....	86
<b>Figura 41:</b> Perda de umidade a uma concentração de 0,3% .....	87
<b>Figura 42:</b> Intervalo de confiança .....	91

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Padrões nacionais de qualidade do ar - CONAMA N°003/1990 .....	22
<b>Tabela 2:</b> Produtos transportados na EFVM em 2016.....	26
<b>Tabela 3:</b> Relação dos polímeros utilizados e suas respectivas concentrações.....	54
<b>Tabela 4:</b> Metodologia de cálculo dos valores obtidos nos ensaios .....	63
<b>Tabela 5:</b> Resultados dos testes com o Produto “X” – Concentração de 1,0% .....	64
<b>Tabela 6:</b> Resultados dos testes com o Produto “A” – Concentração de 0,5% .....	65
<b>Tabela 7:</b> Resultados dos testes com o Produto “A” – Concentração de 0,3% .....	66
<b>Tabela 8:</b> Resultados dos testes com o Produto “B” – Concentração de 1,0 % .....	67
<b>Tabela 9:</b> Resultados dos testes com o Produto “C” – Concentração de 2,0% .....	68
<b>Tabela 10:</b> Resultados dos testes com o Produto “D” – Concentração de 2,0% .....	69
<b>Tabela 11:</b> Resultados dos testes com o Produto “E” - Concentração de 1,0% .....	70
<b>Tabela 12:</b> Resultados dos testes com o Produto “F” – Concentração de 1,0%.....	71
<b>Tabela 13:</b> Resultados dos testes com o Produto “G” – Concentração de 1,0% .....	72
<b>Tabela 14:</b> Resultados dos testes com o Produto “H” – Concentração de 2,0% .....	73
<b>Tabela 15:</b> Resultados dos testes com o Produto “I” – Concentração de 2,0%.....	74
<b>Tabela 16:</b> Resultados dos testes com o Produto “J” – Concentração de 2,0%.....	75
<b>Tabela 17:</b> Resultados dos testes com o Produto “K” – Concentração de 1,0% .....	76
<b>Tabela 18:</b> Resultados dos testes com o Produto “K” – Concentração de 0,5% .....	77
<b>Tabela 19:</b> Resultados dos testes com o Produto “K” – Concentração de 0,3% .....	78
<b>Tabela 20:</b> Avaliação de custos dos polímeros usados em testes.....	88
<b>Tabela 21:</b> Média da perda de umidade total (%) .....	89

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
1.2 PROBLEMA E HIPÓTESE.....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1 POLUIÇÃO DO AR.....	14
2.1.1 Tipos de poluentes atmosféricos.....	15
2.1.2 Fontes emissoras de poluentes atmosféricos .....	16
2.2 MATERIAL PARTICULADO .....	17
2.2.1 Efeitos da poluição do ar na saúde da população.....	18
2.2.2 Aspectos legais sobre poluição atmosférica .....	19
2.3 EFVM.....	24
2.3.1 Fontes de emissão de poluentes na EFVM.....	28
2.3.2 Sistema de controle utilizados.....	31
i) Sistemas de controle das fontes fixas.....	32
ii) Sistemas de controle das fontes móveis.....	36
iii) Sistemas de controle das fontes difusas.....	40
2.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.....	41
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
3.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	45
3.2 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO .....	45
3.2.1 Polímeros utilizados na pesquisa.....	45
3.2.2 Montagem do experimento.....	47

i) Fluxograma.....	47
ii) Túnel de vento .....	47
iii) Preparo das soluções de polímero.....	54
iv) Preparo da amostra de minério .....	55
v) Execução do teste no túnel de vento.....	57
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1 TESTES .....	62
4.2 ANÁLISE TÉCNICA .....	79
4.3 ANÁLISE ECONÔMICA .....	87
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>

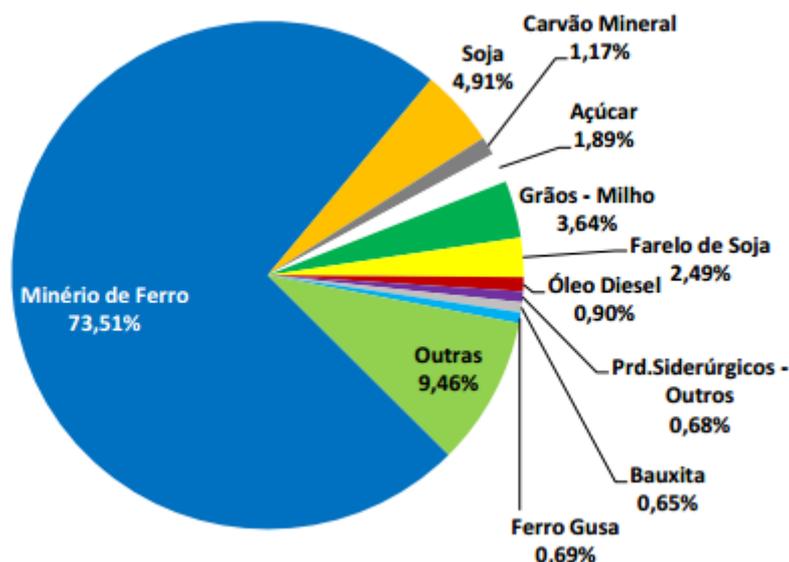
## 1 INTRODUÇÃO

As ferrovias têm um papel de grande importância no desenvolvimento econômico brasileiro. Devido à sua utilização foi possível aumentar a capacidade de escoamento dos produtos, promovendo um aumento das relações comerciais e financeiras do país, além de movimentar a economia. Com isto, também houve um aumento do fluxo migratório de mão-de-obra qualificada para os centros produtores e industriais, fatores essenciais para que o Brasil obtivesse seu primeiro surto de crescimento, no final do século XIX (MARTINS; CAIXETA FILHO, 1998).

Apesar do declínio vivenciado a partir da década de 1940, as ferrovias ainda hoje são o segundo modal mais utilizado para transporte de cargas no país, responsável por 20,7% do total de cargas transportadas (CNT, 2015). Isso se deve às suas diversas vantagens competitivas, tais como: capacidade de transportar grandes lotes de mercadorias, valores inferiores de frete, baixo consumo energético, possibilidade de adaptação ferro-rodoviária e execução de estoque em trânsito (RODRIGUES, 2004). Além disso, se comparadas às rodovias, as ferrovias emitem menos poluentes, oriundos de combustíveis, por volume de carga transportado e são mais seguras (DIAS; MIRANDA; GUIMARÃES, 2007).

Porém, existe uma grande preocupação com relação às operações que envolvem os materiais transportados nas ferrovias, isto porque grande parte destes materiais possuem granulometria fina, podendo ser inferior a 0,15mm (no caso do minério tipo *pellet feed*). Devido à baixa granulometria, estes materiais contribuem com a emissão de material particulado, proveniente das pilhas dos pátios, das operações de carga e descarga e dos vagões carregados, por meio do arraste eólico.

Dentre os materiais transportados, uma maior atenção deve ser dada ao minério de ferro, que representa quase 3/4 de toda carga transportada na malha ferroviária brasileira, requerendo um maior controle, conforme Figura 1.



**Figura 1:** Principais mercadorias transportadas em 2010 pelas malhas ferroviárias concedidas (percentual calculado sobre a produção de transporte em tku)

FONTE: ANTT. Disponível em:

[http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/invent%C3%A1rio%20ferrovi%C3%A1rio%202012\\_final.pdf](http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/invent%C3%A1rio%20ferrovi%C3%A1rio%202012_final.pdf)

Os materiais particulados encontrados em suspensão afetam significativamente a qualidade do ar.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), 80% da população urbana mundial vive sob níveis nocivos de poluição, estando sujeitos a doenças respiratórias, cardiovasculares, neurológicas e câncer. Dentre os principais poluentes responsáveis pela deterioração da qualidade do ar está o material particulado, principalmente as partículas PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> (com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 e 2,5 µm, respectivamente), que penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular dos seres humanos, aumentando o risco de doenças ou acelerando a sua evolução (ALMEIDA, 1999).

O material particulado fino, pode causar perdas das propriedades funcionais das plantas, como fotossíntese, redução de biomassa e impacta a sua capacidade de

reprodução. Em um grau mais severo de risco ambiental, podem interferir na distribuição de espécies numa determinada área e conseqüentemente, na sucessão vegetal (OLIVEIRA; OLIVA; PEREIRA, 2007).

Medidas de controle de emissão do MP são essenciais para se garantir a qualidade ambiental e a qualidade de vida da população. Na Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), ferrovia administrada pela VALE, são praticadas diversas medidas de controle de material particulado, para evitar o seu aporte das pilhas de materiais e vagões transportadores. Dentre as medidas estão a redução da velocidade dos trens nas áreas de comunidades, enclausuramento dos equipamentos nas áreas de transferência de materiais, umidificação dos materiais nos pátios de estocagem, carregamento e transporte, com o uso de supressores de pó junto com a umidificação, formando uma camada protetora do arraste eólico.

Como as tecnologias estão sempre em evolução, é necessária uma revisão contínua dos insumos e equipamentos utilizados para controle das emissões, para garantir uma maior efetividade no processo. Além disso, há uma exigência sempre maior por parte da população e dos órgãos de fiscalização com relação aos controles ambientais.

Assim, o presente trabalho tem uma premissa extremamente importante, pois a partir da avaliação de novos produtos (supressores de pó) disponíveis no mercado e em desenvolvimento, pode-se garantir uma melhor eficiência no controle de emissões atmosféricas provenientes do transporte de minério da VALE.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é avaliar e comparar o desempenho de diferentes polímeros utilizados para mitigação da emissão de minério de ferro pelos vagões de transporte da VALE, através da metodologia de testes em um equipamento chamado Túnel de Vento.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Selecionar os supressores de pó a serem utilizados na pesquisa com base na disponibilidade, custo de transporte e reconhecimento no mercado;

- Definir as concentrações de utilização dos supressores de pó;
- Realizar testes de bancada com equipamento chamado Túnel do Vento, cuja função é simular algumas condições às quais os vagões reais estão sujeitos em suas viagens, tais como a ação do vento, da vibração e da radiação solar sobre o minério;
- Avaliar a eficiência dos produtos utilizados nos testes;
- Comparar o desempenho e definir o produto a ser utilizado pela sua relação custo-benefício.

## 1.2 PROBLEMA E HIPÓTESE

Souza apresenta o método científico através das seguintes etapas (SOUZA; 2010):

1. Definição do problema a ser investigado;
2. Revisão bibliográfica;
3. Formulação de uma ou mais hipóteses;
4. Teste da(s) hipótese(s);
5. Definição da tese;
6. Publicação dos resultados.

O problema a ser investigado neste trabalho é a eficiência do supressor de pó utilizado na VALE e a comparação com novos produtos disponíveis no mercado, além das formas de aplicação e concentrações que tornem os produtos eficientes, avaliando-se a relação custo-benefício desses produtos.

Durante a revisão bibliográfica serão descritas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos envolvidas no transporte do minério na EFVM, os sistemas de controle utilizados, o uso dos polímeros supressores de pó, os tipos disponíveis no mercado e a facilidade de obtenção. Por fim, serão apresentados os tipos de monitoramento de qualidade do ar realizados na EFVM.

A hipótese definida no trabalho é que existem supressores de pó no mercado que

apresentam eficiência superior aos utilizados na VALE, e com melhor relação custo-benefício. Para testar a hipótese, foram realizados experimentos para avaliação do desempenho de diferentes supressores de pó disponíveis no mercado. Os resultados finais serão publicados através desta dissertação e potencialmente em artigos para revistas científicas das áreas de controle de emissões atmosféricas em fontes externas/difusas e fontes fixas na mineração.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 POLUIÇÃO DO AR**

De acordo com a Política Nacional de Meio Ambiente, a poluição do ar é qualquer alteração da qualidade do ar que, direta ou indiretamente:

- Prejudique a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- Crie condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- Afete desfavoravelmente a biota;
- Afete as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- Lance matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais vigentes para qualidade do ar (BRASIL, 1981).

A rápida urbanização verificada em todo o planeta trouxe um grande aumento no consumo de energia e também de emissões de poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis por fontes fixas, como as indústrias, e por fontes móveis, como os veículos automotores (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008).

Atualmente, aproximadamente 50% da população do planeta vive em cidades e aglomerados urbanos, estando expostas a níveis progressivamente maiores de poluentes do ar (ARBEX; *et al*, 2012). A outra metade, principalmente nos países em desenvolvimento, utiliza combustíveis sólidos derivados de biomassa (madeira, carvão vegetal, esterco animal seco e resíduos agrícolas) e combustíveis líquidos, em menor proporção, como fonte de energia para cocção, aquecimento e iluminação (SALVI; BARNES, 2009).

O nível de poluição ou da qualidade do ar é medido pela quantificação das substâncias poluentes presentes no mesmo. Estes poluentes são geralmente substâncias adicionadas ao ar por atividades humanas e têm efeito adverso sobre o meio ambiente e a saúde humana. Eles existem na forma de gases, partículas pequenas de sólidos (particulados), ou pequenas gotículas de líquido dispersas em um gás (chamados de aerossóis) (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

### 2.1.1 Tipos de poluentes atmosféricos

Existem diversas classificações para os poluentes, sendo que as mais comuns referem-se à origem do poluente, à sua composição e ao seu estado físico.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006), os poluentes podem ser classificados, de acordo com sua origem, em primários e secundários.

- Poluentes primários são aqueles liberados diretamente das fontes de emissão, como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), a amônia ( $\text{NH}_3$ ), o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ );
- Poluentes secundários são aqueles formados na atmosfera através de reações químicas entre os poluentes primários, se destacando o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), o trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ), os nitratos ( $\text{NO}^{-3}$ ), os sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o nitrato de peroxiacetila – PAN – ( $\text{CH}_3 = \text{OO}_2\text{NO}_2$ ).

Com relação à composição do poluente, estes podem ser orgânicos ou inorgânicos.

- Poluentes orgânicos são aqueles que possuem o elemento carbono organizado em cadeias na sua composição, como os hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos, dentre outros;
- Poluentes inorgânicos são as poeiras minerais, névoas,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , metais pesados, que possuem composição inorgânica.

Quanto ao estado físico, os poluentes podem ser classificados em material particulado, gases e vapores (CETESB, 2016).

É importante entender que a presença de um determinado poluente no ar não significa um problema. Para que a poluição do ar se constitua num problema de saúde é necessário que haja poluentes numa concentração acima daquela prevista como mínimo aceitável, de acordo com os padrões da Organização Mundial de Saúde ou com outros padrões preestabelecidos (CAVALCANTI, *et al*, 1979).

### 2.1.2 Fontes emissoras de poluentes atmosféricos

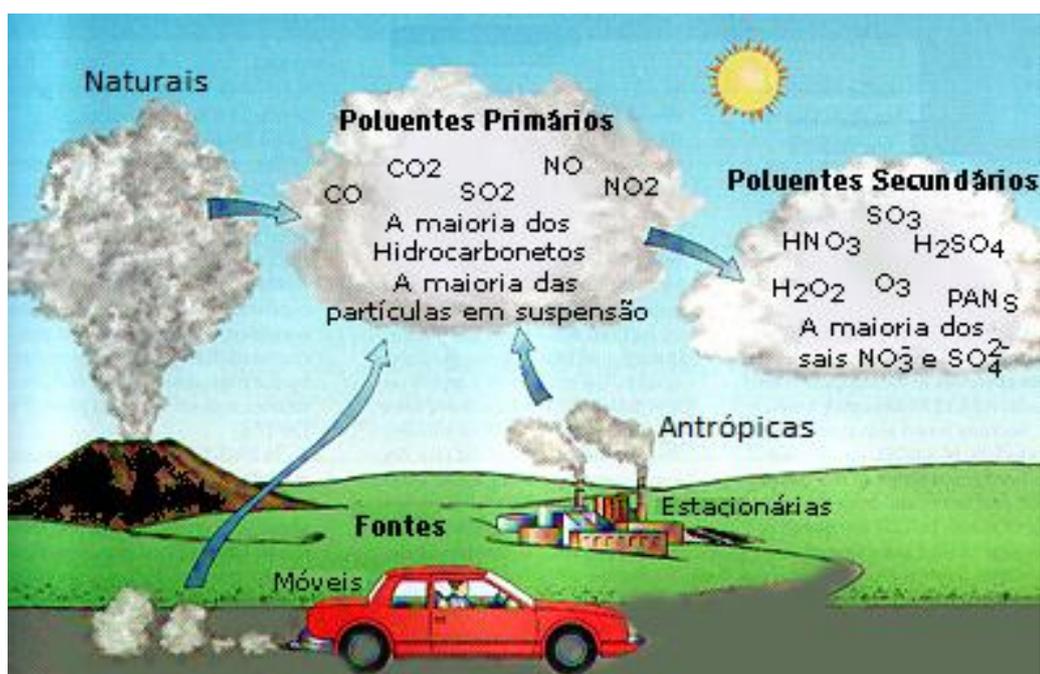
As fontes emissoras de poluentes são diversas (Figura 2), podendo ser antropogênicas ou naturais. As fontes antropogênicas são as que resultam das atividades humanas, como as emissões por veículos automotores, indústrias, aviões, entre outras (NOBREGA, 2013).

Já as fontes naturais englobam os fenômenos da natureza como as emissões da vegetação, oceanos, erupções vulcânicas, processos biológicos, etc.

As fontes antrópicas são as mais estudadas, pois significam uma alteração no estado normal do meio ambiente. Elas são classificadas, no geral, em fixas e móveis, e, segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011), são definidas como:

- Fontes Fixas são qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugitiva. Como exemplos de fontes fixas tem-se as indústrias, que são as fontes mais significativas, ou de maior potencial poluidor. Também se destacam as usinas termoelétricas, que utilizam carvão, óleo combustível ou gás, bem como os incineradores de resíduos, com elevado potencial poluidor (ASSUNÇÃO, 1998).
- Fontes Móveis são as fontes que se dispersam pela cidade, não ocupando um local fixo, e realizam o lançamento da poluição em vários locais, não sendo possível a avaliação na base de fonte por fonte. Como exemplo de fontes

móveis tem-se os automóveis, trens, aviões e embarcações marítimas. Destas fontes, os veículos se destacam nas cidades como os principais poluidores (MMA, 2016).



**Figura 2:** Diferentes tipos de fontes emissoras de poluentes

FONTE: Adaptado de MILLER (2008).

## 2.2 MATERIAL PARTICULADO

O material particulado (MP) em suspensão na atmosfera é definido como qualquer substância, exceto água pura, no estado líquido ou sólido, que existe na atmosfera sob condições normais e tem dimensões superiores a 0,2 nm (nanômetro). A classificação de material particulado abrange uma grande classe de poluentes, constituída de poeiras, fumaças e todos os tipos de materiais sólidos e líquidos que, devido ao pequeno tamanho, mantêm-se suspensos no ar (SANTIAGO, 2013).

O material particulado pode ser emitido diretamente na atmosfera ou se formar na atmosfera a partir de emissões primárias de gases. As poeiras de construção, por

exemplo, são emitidas diretamente no ar. Já os sulfatos são formados a partir, por exemplo, da emissão de SO<sub>2</sub> (RESENDE, 2007).

O tamanho é um dos parâmetros mais importantes para a caracterização do comportamento das partículas. Existe o parâmetro poeira total em suspensão, definido como sendo composto de partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 100µm (DERISIO, 1992). Entende-se por diâmetro aerodinâmico de partícula, o diâmetro de uma esfera de densidade unitária que possua a mesma velocidade de sedimentação da partícula em estudo (MANAHAN, 1994).

A distribuição de tamanho de partículas pode variar de 0,02 a 1000 µm com pelo menos três faixas de tamanho, o que torna a tarefa de amostragem bastante complexa. As faixas variam de acordo com a origem, composição química e tempo de residência na atmosfera. É importante considerar que as partículas presentes no ar podem afetar o meio ambiente e o ser humano de diferentes formas. Por isso, os métodos de amostragem devem ser selecionados de acordo com os objetivos propostos em cada trabalho (MARK, 1998; AMORIM, 2004).

### 2.2.1 Efeitos da poluição do ar na saúde da população

A poluição do ar é uma grande ameaça à saúde de toda a população mundial, sendo fator de risco para as doenças respiratórias agudas e crônicas. O ar poluído penetra nos pulmões, ocasionando o aparecimento de várias doenças, em especial do aparelho respiratório, como a bronquite crônica, a asma e até o câncer pulmonar (OMS, 2016).

Os efeitos da poluição atmosférica sobre o meio ambiente e a saúde humana se manifestam globalmente e em escala local e, neste caso, dentre os principais poluentes atmosféricos, o material particulado caracteriza a mais evidente e visível forma de poluição do ar em um centro urbano.

O primeiro efeito visível sobre os materiais e a vegetação é a deposição de partículas, principalmente poeira e fumaça. Nas edificações e monumentos, as partículas depositadas provocam descoloração, erosão, corrosão e decomposição de materiais

de construção. As condições de visibilidade na atmosfera são influenciadas pelas partículas em suspensão, podendo, dessa forma, afetar inclusive o clima, absorvendo as radiações solares e diminuindo sua incidência sobre a superfície terrestre (MELO, 1997).

Diversos estudos mostram que, dentre as diferentes faixas de tamanho do material particulado, as partículas grossas, de diâmetro superior a 2,5 µm, são menos prejudiciais à saúde humana, pois sedimentam rapidamente, reduzindo a exposição humana por inalação. (CASTANHO, 1999).

### 2.2.2 Aspectos legais sobre poluição atmosférica

A legislação ambiental traduz um sistema de princípios e normas jurídicas que disciplinam as relações do homem com o meio que o envolve, objetivando a conservação da natureza, a manutenção dos equilíbrios ecológicos, e o combate às diversas formas de poluição em busca do desenvolvimento sustentado.

Os aspectos legais e institucionais constituem ferramentas imprescindíveis à implantação e bom andamento dos programas de controle da poluição do ar. Além dos aspectos legais, a clareza, a simplicidade, a dinamicidade e a viabilidade de aplicação dos dispositivos a serem editados são importantes fatores a serem considerados (DERISIO, 1992).

No Brasil, dispositivos legais relacionados à poluição do ar têm sido editados nas esferas federal, estadual e municipal. Nesse sentido, a legislação ambiental brasileira começou a ser consolidada enquanto ordenamento dirigido a partir da década de 80. A Lei n.º 6938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), estabelece os princípios e objetivos dessa política e considera o meio ambiente como “patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo” (BRASIL, 1981, art. 2º).

Com fundamento nos dispositivos desta lei, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por ela criada, passou a editar normas administrativas relativas à

proteção ambiental. A Constituição Federal de 1988, através do artigo 225 inclui um capítulo inteiro dedicado à proteção do meio ambiente e a conservação dos recursos naturais.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e próximas gerações (BRASIL, 1988).

A seguir serão apresentadas algumas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente, importantes instrumentos legais editados com relação ao recurso.

**I) Resolução nº 001 de 1986 do CONAMA**

Esta Resolução foi criada em 23 de janeiro de 1986 e instituiu a avaliação de impactos ambientais como um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente. Estabelecendo a obrigatoriedade da elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto no Meio Ambiente (RIMA), a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente e do IBAMA, em caráter supletivo, previamente ao licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, com significativo impacto ambiental, conforme listado na Resolução (CONAMA, 1986).

**II) Resolução nº 018 de 1986 do CONAMA**

Criada em 6 de maio de 1986, instituiu o programa Nacional de Controle da Poluição do ar por veículos automotores (PROCONVE), com limites máximos de emissão para motores e veículos novos, bem como regras e exigências para o licenciamento para fabricação de uma configuração de veículo ou motor, e para a verificação da conformidade da produção (CONAMA, 1986).

**III) Resolução nº 005 de 1989 do CONAMA - PRONAR**

Essa Resolução foi criada em 15 de julho de 1989, e instituiu o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR). O PRONAR é um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida. Tem como objetivo permitir o desenvolvimento econômico e

social do país, de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vista à melhoria da qualidade do ar. Garantia do atendimento aos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas (CONAMA, 1989).

#### **IV) Resolução nº 003 de 1990 do CONAMA**

Através da Portaria Normativa n.º 348 de 14/03/90, o IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e os respectivos métodos de referência, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados através da Portaria GM 0231 de 27/04/76.

Os padrões estabelecidos através dessa portaria foram submetidos ao CONAMA em 28 de junho de 1990 e transformados na Resolução CONAMA n.º 03/90 (CETESB, 2005). São estabelecidos neste documento dois tipos de padrões de qualidade do ar, os primários e os secundários.

São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, pelo menos a curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários.

Como prevê a própria Resolução CONAMA n.º 03/90, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III, conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que,

enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários. Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA n.º 03 de 28/06/90 são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Padrões nacionais de qualidade do ar - CONAMA N°003/1990

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário ( $\mu/m^3$ )	Padrão Secundário ( $\mu/m^3$ )	Método de medição
Partículas totais em Suspensão	24 horas <sup>1</sup>	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA <sup>2</sup>	80	60	
Partículas inaláveis	24 horas <sup>1</sup>	150	150	Separação inercial/filtração
	MMA <sup>3</sup>	50	50	
Fumaça	24 horas <sup>1</sup>	150	100	Refletância
	MMA <sup>3</sup>	60	40	
Dióxido de enxofre	24 horas <sup>1</sup>	365	190	Pararosanilina
	MMA <sup>3</sup>	80	100	
Dióxido de nitrogênio	1 hora <sup>1</sup>	320	190	Quimiluminescência
	MMA <sup>3</sup>	100	100	
Monóxido de carbono	1 hora <sup>1</sup>	40.000	40.000	Infravermelho
		35ppm	35ppm	
	8 horas <sup>1</sup>	10.000	10.000	Não dispersivo
		9ppm	9ppm	
Ozônio	1 hora <sup>1</sup>	160	160	Quimiluminescência

FONTE: CETESB (2011).

Nota: 1 – Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

2 – Média Geométrica Anual.

3 – Média Aritmética Anual.

#### V) Resolução nº 008 de 1990 do CONAMA

Estabeleceu os limites máximos de emissão (Padrões de Emissão) de poluentes no ar, para processos de combustão externa em fontes novas fixas (CONAMA, 1990).

**VI) Resolução nº 382 de 2006 do CONAMA**

Criada em 26 de dezembro de 2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas considerando o disposto na Resolução nº 005 de 1989 do CONAMA (2006).

Para a criação dessa Resolução do CONAMA, foram considerados os altos níveis de poluição atmosférica já alcançada, principalmente, nas regiões metropolitanas, e seus reflexos negativos sobre a saúde, o meio ambiente e a economia. Considerou também a crescente industrialização de várias regiões do país, com o conseqüente aumento do nível de emissões atmosféricas, a degradação da qualidade do ar, a necessidade da compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico. Essa resolução define estratégias para o controle, recuperação da qualidade do ar e a prevenção da sua degradação. Além disso, explicita a necessidade do controle da poluição na fonte geradora, por meio de equipamentos de controle do tipo “fim de tubo”, ou processos menos poluentes, principalmente, devido à disponibilidade de tecnologia existente para redução da emissão para diversos processos produtivos.

Em alguns estados brasileiros os limites máximos permitidos para poluentes atmosféricos são bem mais restritivos do que na esfera federal, porém, as restrições chegam a ser excessivas. Por esse motivo, essa resolução estabeleceu base de referência nacional sobre os limites de emissão de poluentes atmosféricos, visando coibir excessos não condizentes com a defesa do meio ambiente. Propôs também critérios orientadores para a definição dos limites de emissão de poluentes atmosféricos e desta forma proveu os órgãos ambientais de instrumentos adequados para a análise de processos e licenciamento de empreendimentos. Essas considerações garantem, de certa forma, um equilíbrio no custo ambiental e diminui o impacto nas economias regionais.

A VALE, em suas unidades operacionais, busca aplicar os aspectos legais pertinentes às suas atividades, tendo intrínseco nos seus valores o “Cuidar do nosso planeta”.

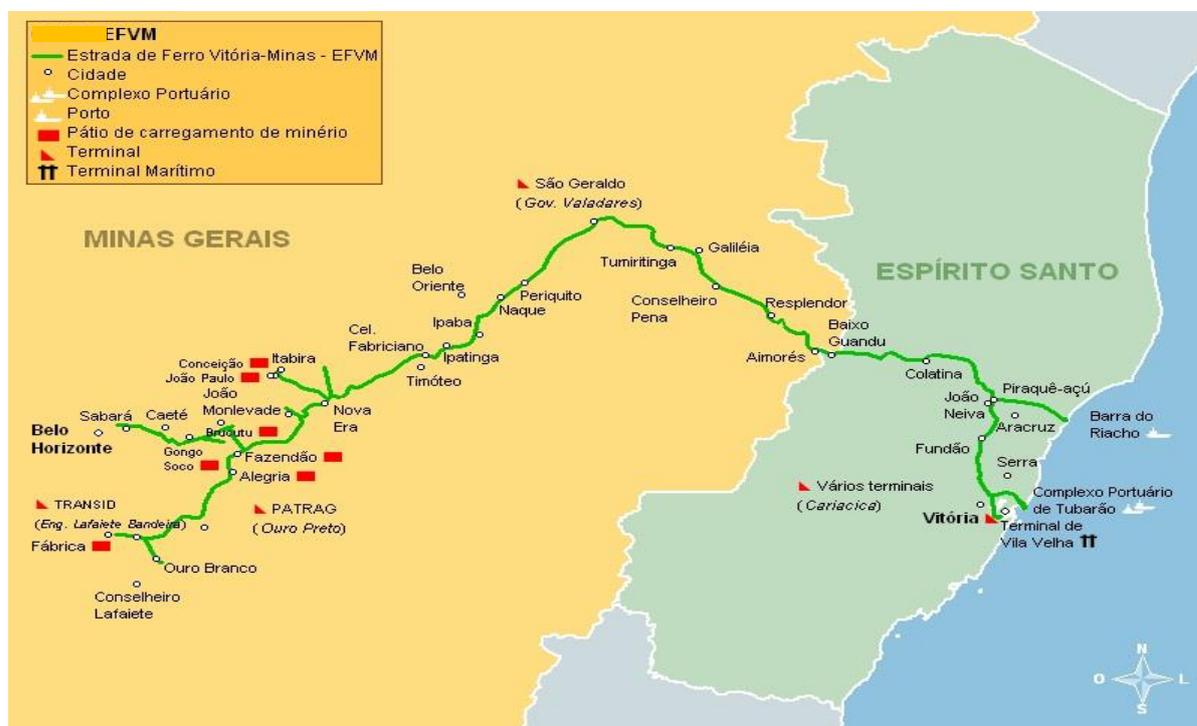
### 2.3 EFVM

A Estrada de Ferro Vitória a Minas (EF-262), também conhecida pela abreviação EFVM, é uma ferrovia brasileira, criada em 1904, que interliga a Região Metropolitana de Vitória, no Espírito Santo, a Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais (VALE, 2014).

Sua locação se iniciou no final do século XIX e tinha como objetivo inicial o transporte ferroviário de passageiros e escoar a produção cafeeira do Vale do Rio Doce e Espírito Santo. No entanto, seu foco foi alterado em 1908, passando a visar o escoamento do minério de ferro extraído em Itabira até os complexos portuários capixabas (VALE, 2014).

A partir da construção da via férrea, estruturaram-se povoados que deram origem a novos municípios, tais como Coronel Fabriciano, MG e, posteriormente, o Vale do Aço, cujo crescimento industrial foi influenciado pela existência da EFVM, que também passou a servir como forma de escoamento da produção das indústrias locais. Em 1964, a ferrovia alcançou a capital mineira, configurando-se como a única no Brasil a fornecer trens de passageiros com saídas diárias a longas distâncias.

A EFVM está localizada na região Sudeste do país, atravessando 42 municípios brasileiros, sendo 11 deles no estado do Espírito Santo (Aracruz, Baixo Guandu, Cariacica, Colatina, Fundão, Ibiraçu, João Neiva, Santa Leopoldina, Serra, Vila Velha e Vitória) e outros 31 municípios localizados no estado de Minas Gerais (Aimorés, Antônio Dias, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Belo Horizonte, Belo Oriente, Catas Altas, Caeté, Congonhas, Conselheiro Pena, Coronel Fabriciano, Governador Valadares, Ipatinga, Itabira, Itueta, João Monlevade, Mariana, Naque, Nova Era, Periquito, Ouro Branco, Ouro Preto, Resplendor, Rio Piracicaba, Sabará, Santa Bárbara, Santa Luzia, Santana do Paraíso, São Gonçalo do Rio Abaixo, Timóteo e Tumiritinga), conforme área de abrangência representada na Figura 3, a seguir.



**Figura 3:** Detalhe da área de abrangência da EFVM

FONTE: VALE

A Estrada de Ferro Vitória a Minas tem atualmente 907 quilômetros de extensão total entre linha, tronco e ramais, interligando o estado de Minas Gerais ao litoral do estado do Espírito Santo. Possui o maior volume de transporte entre as ferrovias brasileiras. Sua malha ferroviária é composta pelos seguintes segmentos:

- Linha tronco – com início no Complexo de Tubarão em Vitória, ES, se estende por 542 Km + 060 m, em linha dupla sinalizada, até Costa Lacerda em MG;
- Ramal Drummond - Itabira – ambos em Minas Gerais, com 33 km de extensão;
- Ramal da Fábrica – entre Costa Lacerda, Engenheiro Bandeira e Ouro Branco, em MG, com 168 km de extensão;
- Ramal Capitão Eduardo – interliga o Pátio de Costa Lacerda à Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, com 90 km de extensão;
- Ramal Portocel – se inicia em Piraqueaçu, ES e vai até a cidade de Aracruz, ES, com 43 km de extensão;

- Ramal Tubarão – se inicia no km 15 da linha tronco, e possui aproximadamente 12 km de extensão;
- Ramal Piçarrão – se inicia no km 505 da linha tronco, e possui aproximadamente 16 km de extensão, estando atualmente desativado.

Administrativamente, a EFVM está dividida em três regionais, a saber:

- Regional 1 com 233,3 km de extensão total, que tem início em Vila Velha, ES, no km 0 da linha tronco e se estende até o km 178 Km + 300 m, na RH 29 (RH - Abrigo de equipamentos eletrônicos), em Baixo Guandu, ES. Fazem parte da Regional 1 os ramais Tubarão e Portocel;
- Regional 2 com 323,36 km de extensão total, que tem início na RH 29, em Baixo Guandu, ES e estende-se até as instalações de Desembargador Drumond, MG, no km 502, na RH 75;
- Regional 3 com 347 km de extensão total, engloba os ramais Drumond-Itabira, Piçarrão, Fábrica e Capitão Eduardo, em Minas Gerais, bem como a linha dupla sinalizada a partir da RH 75 em Desembargador Drumond, MG até Costa Lacerda, MG no km 542 Km + 060 m.

Por toda a extensão da EFVM são transportados diversos produtos, com diferentes características, como mostrado na Tabela 2.

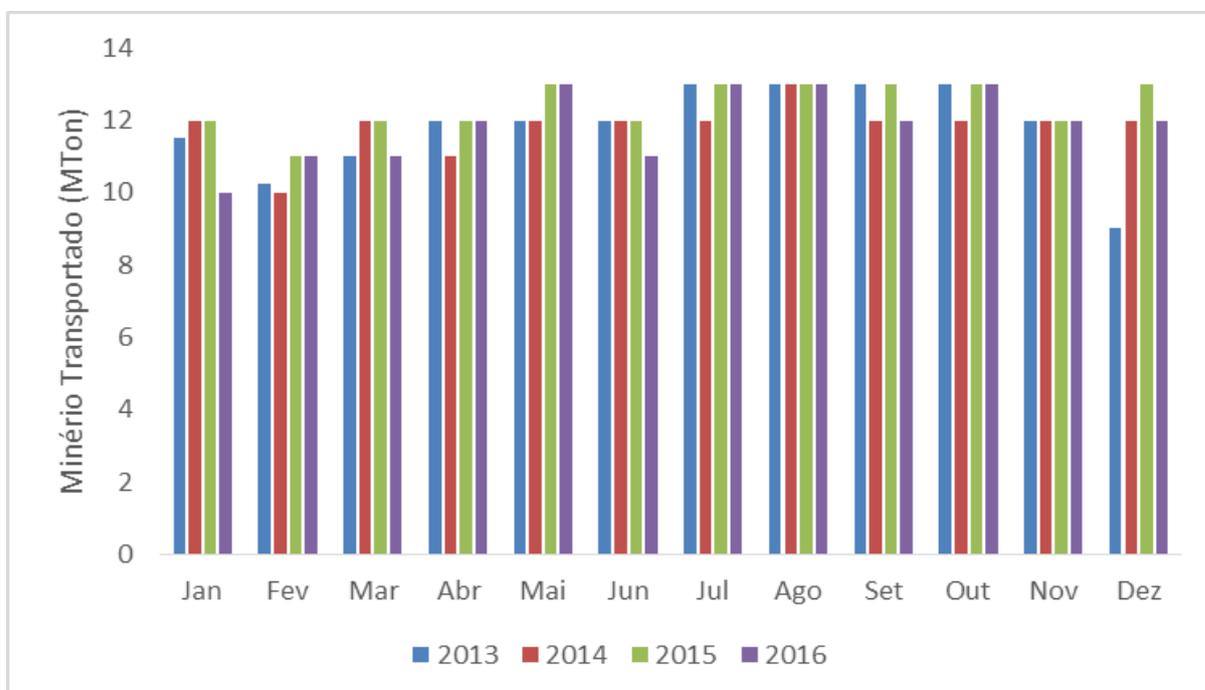
**Tabela 2:** Produtos transportados na EFVM em 2016

<b>Produto</b>	<b>Classificação</b>	<b>Volume Transportado (kton)</b>
Minérios e Pelotas	Minérios e Derivados	120.507
Grãos VTU	Agrícola/Alimentício	5.652
Pr. Siderúrgico	Minérios e Derivados	4.793
Carvão / Antracito GDE	Minérios e Derivados	3.997
Calcário	Minérios e Derivados	1.665
Toretos	Diversos	1.164
Celulose	Diversos	1.127
Fertilizantes VTU	Agrícola	881

Coque	Minérios e Derivados	699
Ferro gusa Exp.	Minérios e Derivados	604
Contêineres	Diversos	552
DVE (O. Comb. e Bunker)	Produto Perigoso	237
Escória	Minérios e Derivados	228
DVC	Produto Perigoso	220
Granito	Minérios e Derivados	197
Carvão Mineral	Minérios e Derivados	138
Antracito	Minérios e Derivados	125
Grãos MI	Agrícola/Alimentício	35
Bolas de moinho	Minérios e Derivados	29
Cimento Acond.	Carga Geral	8
Trigo	Agrícola/Alimentício	4
Quartzo	Minérios e Derivados	1

FONTE: VALE

A Figura 4 mostra a evolução de transporte de minério de ferro ao longo dos anos de 2013 a 2016.



**Figura 4:** Minério transportado na EFVM (2013 – 2016)

FONTE: VALE

Dentre os produtos apresentados na Tabela 2, destaca-se o minério de ferro e derivados, pelo grande volume transportado, sendo responsável por 84% de toda a carga movimentada pela Vale em 2016.

A EFVM transporta 1,2 milhões de passageiros por ano. Diariamente o trem de passageiro sai de Vitória, ES com destino a Belo Horizonte, MG e vice-versa.

### 2.3.1 Fontes de emissão de poluentes na EFVM

Para determinação das fontes de emissão de poluentes na EFVM, foi realizado um Inventário de Fontes de Emissões Atmosféricas, em 2010. A partir deste inventário, pode-se classificar as fontes de emissão em fixas (pontuais ou difusas) e fontes móveis. Ressalta-se que ao longo dos 42 municípios onde a EFVM circula, existem outras fontes emissoras de material particulado que contribuem para a evolução desse indicador da qualidade do ar.

As fontes fixas são definidas como qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugitiva (CONAMA, 2006).

As emissões pontuais são caracterizadas pelo lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte provida de dispositivo para dirigir ou controlar seu fluxo, como dutos e chaminés (CONAMA, 2006). Desta forma, foram classificadas como fontes fixas pontuais as chaminés das oficinas presentes na extensão da EFVM (VALE, 2011).

Com relação às fontes fixas difusas, estas são as que permitem o lançamento difuso na atmosfera de qualquer forma de poluente, sendo desprovidas de qualquer dispositivo projetado para dirigir ou controlar o fluxo da emissão (CONAMA, 2006). Dentro da classificação de fontes fixas difusas, estão os pátios de estocagem das cargas transportadas, onde as principais emissões provêm dos processos de carga e descarga e do arraste eólico do material das pilhas de estocagem (VALE, 2011).

As fontes móveis identificadas ao longo da EFVM são os vagões de minério, carvão e calcário, as locomotivas, as máquinas de via e os caminhões e veículos utilizados na

manutenção e transporte de pessoas e cargas. A área de influência dessas fontes abrange todo o trecho da ferrovia (VALE, 2011).

Atualmente a EFVM possui 322 locomotivas, operando na circulação e transporte das cargas ao longo da ferrovia e manobras nos pátios ferroviários. As locomotivas, representadas pela Figura 5, são movidas a diesel e, conseqüentemente, promovem a queima desse combustível, ocasionando emissões de material particulado, óxidos de enxofre e nitrogênio e hidrocarbonetos (VALE, 2016).



**Figura 5:** Locomotiva da EFVM

As locomotivas são responsáveis pelo transporte dos vagões, que também são consideradas fontes móveis de emissão, tendo em vista que carregam materiais de granulometria fina, e passíveis de arraste eólico e suspensão, estes são apresentados na Figura 6.



**Figura 6:** Detalhe dos vagões de minério da EFVM, Governador Valadares, MG.

Diariamente são transportados, em média, na EFVM, 50 lotes com 84 vagões de minério em cada lote. Esse transporte tem origem em várias minas, percorrendo uma distância média de 600 km até Tubarão, ES, seu destino mais comum (VALE, 2014). O transporte de carvão mineral e calcário, representa uma quantidade menor. São transportados em média 8 lotes de 84 vagões de carvão mineral por dia, saindo do pátio de Tubarão, tendo como principal destino a USIMINAS, em Ipatinga, MG. Quanto ao calcário, são carregadas em média 40 mil toneladas por dia. O carregamento é feito em Matosinhos, MG, no terminal de carregamento da ICAL - Indústria de Calcificação LTDA, operado pela empresa VLI Logística. O destino principal desse calcário é o pátio de estocagem e as usinas de pelotização em Tubarão (VALE, 2014).

Além das locomotivas, a EFVM possui diversas máquinas de via que realizam manutenções na via permanente. Estas máquinas, assim como as locomotivas, queimam diesel para locomoção, emitindo material particulado, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio e enxofre. Os tipos de maquinário utilizados na VALE são: desguarnecedoras, socadoras, esmerilhadora de trilhos, carro controle, autos de linha, reguladora de lastro entre outras (VALE, 2014).

A Figura 7 a seguir apresenta uma máquina do tipo desguarnecedora, que é o equipamento que reconstitui o lastro de brita da linha férrea, restabelecendo a condição original, evitando formação de defeitos nocivos aos ativos da ferrovia, garantindo a confiabilidade da malha e a segurança operacional.



**Figura 7:** Máquina desguarnecedora da EFVM

Além dos tipos de fontes móveis citadas, existem ainda caminhões e caminhonetes que trafegam ao longo da EFVM no intuito de manter suas operações sob controle, e realizar atividades de manutenção. Esses equipamentos circulam em vias públicas asfaltadas e zonas rurais com estradas de terra, produzindo emissão por meio da queima de combustível e pela suspensão de material particulado presente nas estradas vicinais (VALE, 2014).

### 2.3.2 Sistema de controle utilizados

A EFVM, por ser um potencial contribuidor na emissão de particulados, entende que é de suma importância utilizar mecanismos de controle dessas emissões. Segundo a Resolução nº 382 do CONAMA, a poluição atmosférica deve ser

controlada na fonte, em razão do Princípio de Prevenção à Poluição (CONAMA, 2006).

Desta forma, para cada tipo de fonte de emissão existente na ferrovia, é realizado um tipo de sistema de controle específico. Os sistemas já implantados na EFVM são apresentados a seguir.

i) Sistemas de controle das fontes fixas

- Ciclone da oficina de vagões (Torno de Rodas)

Ciclones são equipamentos projetados para a separação de materiais particulados do fluxo de ar, através da combinação de forças centrífugas, inerciais e gravitacionais. O tamanho, o peso e o formato da partícula, além da concentração destes particulados, são fatores determinantes para a eficiência de remoção (CHIABAI JUNIOR, 2014).

No sistema de ventilação da chaminé do torno de rodas da oficina de vagões, no Complexo de Tubarão, existe um equipamento de controle de poluição do tipo ciclone, fabricado pela empresa System Edelhoff. Este possui uma chaminé de duto retangular com 1,10 metro de altura, 0,30 metros de largura e 0,70 metros de comprimento. A Figura 8 a seguir mostra o sistema que contém o ciclone da oficina de vagões.



**Figura 8:** Ciclone da Oficina de Vagões - Complexo de Tubarão

- Filtro Manga do Areeiro e da Cabine de Jateamento de Granalha

Um outro equipamento utilizado para controle de emissões atmosféricas e que está presente na Oficina de Vagões é o Filtro de Manga. Este também é utilizado para a retenção de partículas presentes no fluxo de ar, e seu princípio de funcionamento é bem simples. O filtro de manga é composto por um tecido, que retém as partículas. No começo do processo de filtragem a coleta se inicia com a colisão das partículas contra as fibras, aderindo posteriormente às mesmas (SANTINI, 2011). O filtro de manga está instalado no sistema de ventilação do Areeiro, na Oficina de Vagões, e na Cabine de jateamento de granalha, como mostrado na Figura 9 e na Figura 10.



**Figura 9:** Filtro de Manga do Areeiro - Oficina de Vagões



**Figura 10:** Filtro de manga da cabine de jateamento de granalha

- Lavadores de gases da Cabine de Pintura da Oficina de Locomotivas

Na cabine de pintura da Oficina de Locomotivas existe um sistema de exaustão composto por 14 ventiladores, 14 lavadores de gases e 14 chaminés. Esse sistema foi projetado para reter material particulado e Compostos Orgânicos Voláteis (VOC). Os lavadores de gases são uma classe de aparelhos que usam um líquido (usualmente a água ou solução aquosa) para realizar a coleta de pós ou névoas (PERRY; CHILTON, 1980). O controle da emissão de poluentes particulados nestes equipamentos envolve o contato dos gases com o líquido (PERRY; CHILTON, 1980; PILAT; NOLL, 2000). As partículas são transferidas da corrente gasosa para o líquido de lavagem via mecanismos de impacto inercial, deposição gravitacional, interceptação ou difusão browniana. Para partículas maiores que  $0,5\mu\text{m}$ , o impacto inercial é o mecanismo predominante. Já para partículas com diâmetros muito pequenos, a difusão browniana é o principal mecanismo (MEILI, 2006).

A Figura 11 mostra alguns dos lavadores de gases.



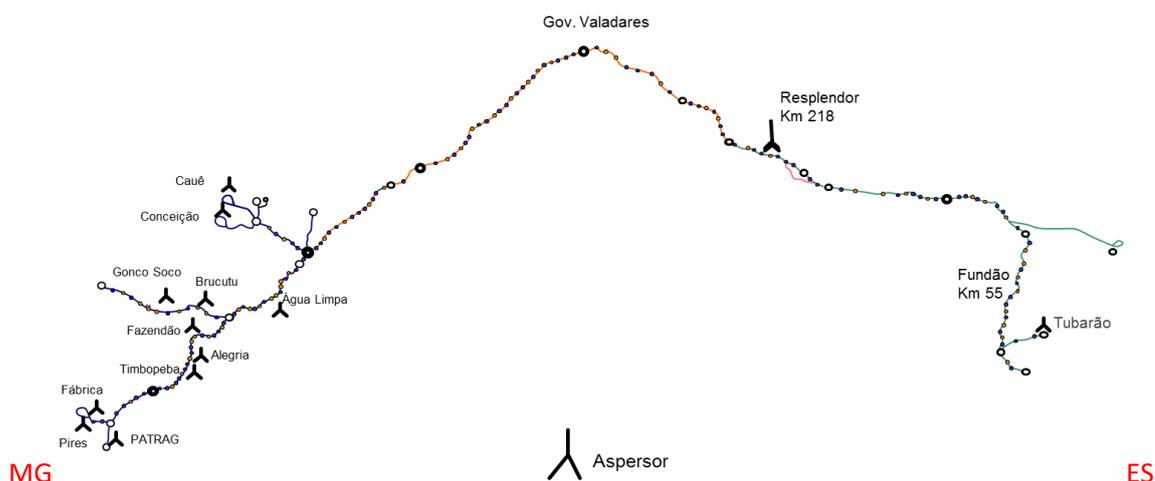
**Figura 11:** Lavadores de gases da cabine de pintura da Oficina de Locomotivas

## ii) Sistemas de controle das fontes móveis

A principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos das fontes móveis é o arraste eólico das cargas em trânsito ao longo da ferrovia. Este arraste pode ser maior ou menor, de acordo com a carga transportada, influenciando na ocorrência de emissão atmosférica de material particulado.

Como medida de controle de emissões de particulados no transporte de minério, carvão e calcário ao longo da EFVM, todos os pontos de carregamento são providos de um sistema de aspersão. Os aspersores são responsáveis pela aplicação de polímero na superfície da carga com o intuito de formar um filme ou uma película protetora em todos os carregamentos com potencial de emissão de particulados. Esta película formada pelo polímero impede que o material fino se desprenda e seja arrastado pelo ar, além de auxiliar na retenção de umidade, reduzindo a emissão de poeira.

A Figura 12 mostra a localização dos aspersores dos carregamentos de minério e carvão dos trens que circulam na EFVM.



**Figura 12:** Localização dos aspersores de vagões

FONTE: VALE

Os polímeros utilizados no processo de aspersão são produtos na forma de uma solução ou dispersão aquosa, que geralmente são pulverizados sobre a superfície do material de baixa granulometria, que gera poeira, atuando por um longo período de tempo.

Os supressores de pó podem atuar das seguintes maneiras:

- Formando um filme protetor sobre o material, mesmo após a evaporação da água;
- Aglomerando o material;
- Reunindo umidade da atmosfera para dificultar a interferência do vento.

A água é o mais comum supressor de poeira, entretanto, a sua aplicação em grande escala pode se tornar inviável, pois este líquido evapora com relativa rapidez, quando se trata de transporte por vários dias em sistema aberto. Além disso, ela pode alterar algumas características do material ao qual foi aplicada.

Desta forma, a opção economicamente mais viável é a utilização das soluções de polímeros. ARAUJO, MDEIROS e LAGO (2010) citam que no transporte de minérios, o supressor físico-químico é o que apresenta menor custo, podendo ser aplicado sobre a superfície do minério presente em vagões de um trem em movimento, e garantindo uma alta eficiência.

As Figuras 13 e 14 mostram a película formada pela aspersão com polímero nas cargas de minério e carvão, respectivamente.



**Figura 13:** Parte da película formada no minério pela aspersão com polímero



**Figura 14:** Parte da película formada no carvão pela aspersão com polímero

Existe um sistema projetado especificamente para realizar a aspersão. Este é, basicamente, um sistema eletromecânico semi-automático dotado de bicos que direcionam um jato de solução (aglomerante e água) sobre o minério transportado nos vagões (Figura 15 e Figura 16).



**Figura 15:** Esquema do sistema de aspersão

Com o intuito de reforçar a aspersão realizada nas cargas nos pontos de carregamento, a VALE mantém um sistema de aspersão em Resplendor, MG, que está localizado estrategicamente em um ponto intermediário da ferrovia, para prolongar a eficiência da aspersão realizada na origem da carga e, assim, garantir maior eficiência da aspersão, evitando que ocorra emissão de material particulado em locais mais distantes da origem da carga.



**Figura 16:** Aspersor de Resplendor, MG

Existe uma grande diversidade de polímeros utilizados no processo de supressão de poeira. Devido às suas variadas composições, os mecanismos de atuação também são bastante divergentes.

### iii) Sistemas de controle das fontes difusas

Nas fontes difusas, o sistema de controle existente é a aspersão, com solução aglomerante ou água, das pilhas e pisos dos pátios de estocagem temporária de produto. A periodicidade da aspersão é definida de acordo com o volume de material e das condições climáticas. A Figura 17 apresenta uma foto da aspersão do pátio de estocagem de Tubarão, ES.

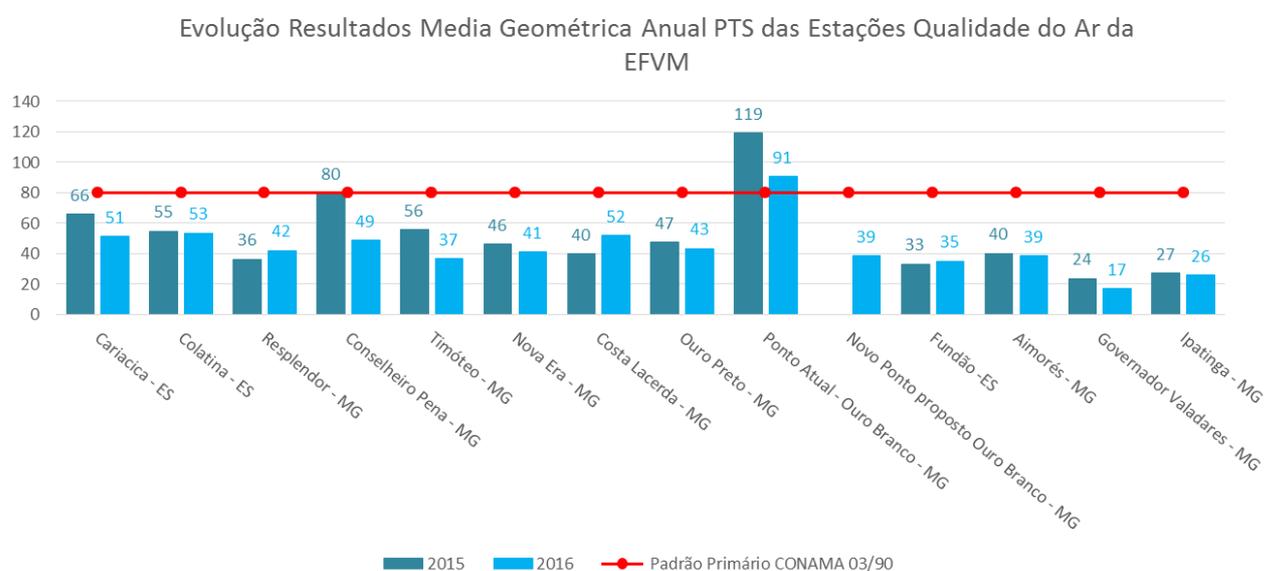


**Figura 17:** Aspersão no Pátio de Estocagem de Tubarão, ES



A evolução dos resultados da Rede de Monitoramento das estações de qualidade do ar da EFVM quanto à média geométrica anual PTS e média anual PM<sub>10</sub> estão apresentados nos gráficos abaixo, onde a Figura 19 apresenta a evolução dos resultados quanto à média geométrica anual PTS. É possível observar em todos os pontos, com exceção do ponto atual de PATRAG em MG, que os resultados atendem à legislação vigente e que dos 13 pontos avaliados, 10 apresentaram melhoria nos resultados em relação ao ano de 2015. Destes, é importante destacar a melhoria significativa do ponto de Conselheiro Pena, MG, que é o último ponto antes do reforço da aspersão de vagões em Resplendor, MG, que apresentou resultado de 49 µg/m<sup>3</sup> em 2016 enquanto que em 2015 apresentou resultado 80 µg/m<sup>3</sup>.

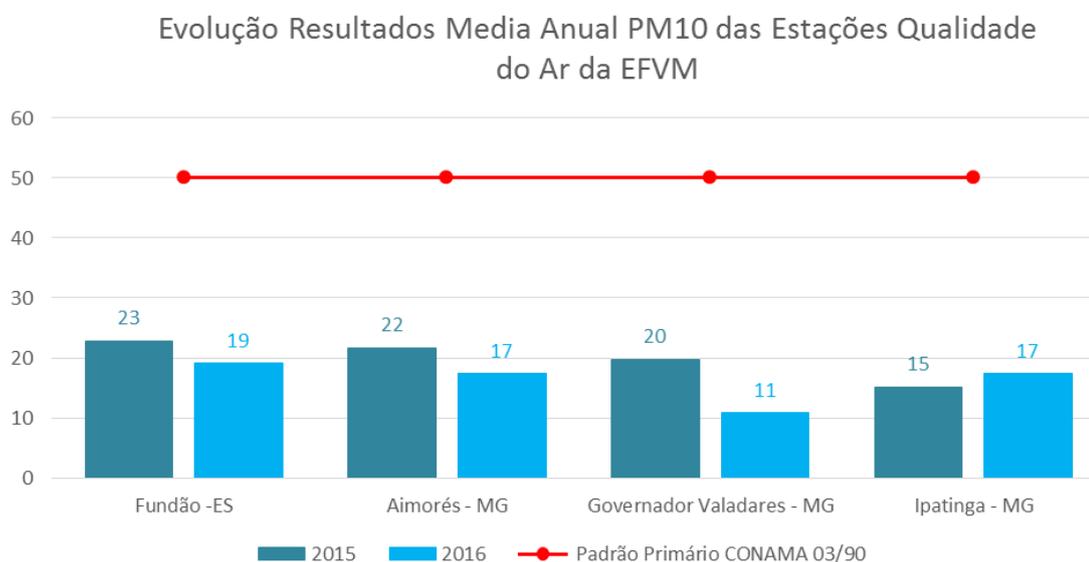
A melhoria deste indicador é resultado do maior controle operacional e da melhoria contínua aplicada nos sistemas de aspersão de vagões que circulam na EFVM e pátios.



**Figura 19:** Evolução de resultados da média geométrica anual PTS

FONTE: VALE

A Figura 20 apresenta a evolução dos resultados de média anual PM<sub>10</sub>, onde foi possível observar em todos os pontos que os resultados atendem à legislação vigente.



**Figura 20:** Evolução resultados média anual PM<sub>10</sub>

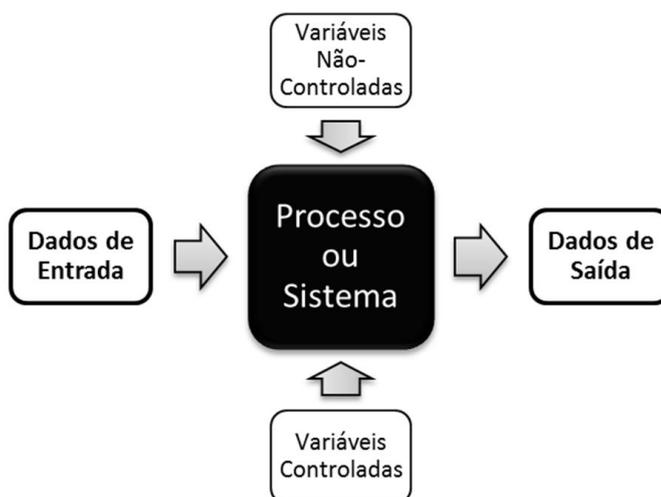
FONTES: VALE

Na Região da Grande Vitória, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) implantou uma Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAr), visando controlar e conhecer o impacto causado pelas diversas fontes poluidoras. A RAMQAr, inaugurada em 06 de junho de 2000, é composta por 9 (nove) estações de monitoramento situadas em locais estratégicos e possui equipamentos de medição de última geração, tornando a Rede Automática uma das mais modernas do mundo, com uma série histórica composta por mais de 10 anos de dados de monitoramento. O Monitoramento Automático visa medir continuamente os níveis de qualidade do ar, possibilitando uma ação mais rápida e altamente eficaz no controle e na fiscalização por parte do IEMA (IEMA, 2017).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Um modelo típico de processo/sistema é reproduzido pela Figura 21, com os dados de entrada e saída, assim como as variáveis controladas e não-controladas (SOUZA, 2010).

Os dados de entrada para este experimento são as amostras de minério com suas características físico-químicas com aplicação de polímeros a serem testados em suas várias concentrações. São variáveis controladas: a massa do minério seco, a umidade aplicada, o tipo e a quantidade de radiação incidente pelas lâmpadas dicróicas, a vibração aplicada, a velocidade do vento e o arranjo experimental. Já as variáveis não-controladas no processo se relacionam à heterogeneidade das amostras, às variações da concentração do polímero testado, à balança e às condições ambientais no momento da análise.



**Figura 21:** Tipos de dados e variáveis em um modelo geral de processo/sistema

FONTE: SOUZA, 2010.

Souza afirma que o planejamento de um experimento deve, no mínimo, determinar quais variáveis mais influenciam os dados de saída e determinar as faixas de valores para as variáveis controladas, de modo que as variáveis não controladas variem o

menos possível. O efeito das variáveis não controláveis deve ser pequeno, o que amplia a importância de um bom arranjo experimental (SOUZA, 2010).

### 3.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Quanto ao delineamento do estudo, uma pesquisa pode ser classificada em quatro parâmetros: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos, (SILVEIRA e CÓRDOVA, 2009).

Quanto à abordagem, esta pesquisa é classificada como qualitativa e quantitativa, uma vez que o objetivo foi tanto de quantificar os parâmetros (concentração de polímero utilizada e perda de material com arraste do ar), como de qualificar os polímeros quanto sua viabilidade econômica, tempo de atuação, dentre outros pontos. Em relação à natureza, a pesquisa é aplicada, pois possui um fim prático, o de resolver problemas relacionados às emissões atmosféricas proveniente do transporte e armazenamento do minério de ferro. Focando nos objetivos, trata-se de uma pesquisa explicativa, visando explicar sobre o tema.

Por último, quanto aos procedimentos, a pesquisa é classificada como experimental, uma vez que experimentos foram realizados com o intuito de observar o comportamento dos diferentes supressores de pó no minério de ferro.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

#### 3.2.1 Polímeros utilizados na pesquisa

Para a seleção dos polímeros utilizados no experimento foi realizada uma pesquisa com várias empresas, visando identificar o desempenho e a disponibilidade de entrega nas regiões abrangidas pela EFVM. Os nomes dos produtos testados foram substituídos por letras, para preservar a identidade tanto do produto quanto do fabricante, por questões éticas.

Desta forma, os polímeros selecionados para a pesquisa foram:

1. Produto “X”
2. Produto “A”
3. Produto “B”
4. Pruduto “C”
5. Pruduto “D”
6. Produto “E”
7. Produto “F”
8. Produto “G”
9. Produto “H”
10. Produto “I”
11. Produto “J”
12. Produto “K” - Polímero PET VALE-UFES (Polímero produzido pelo processo de reciclagem química do PET, obtido por meio de pesquisa realizada entre a UFES e a VALE - Patente: BR1020140298703 e BR10 2015 027113-1).

As concentrações dos polímeros utilizadas na pesquisa foram escolhidas com base na recomendação dos fabricantes. As amostras de minério de ferro foram colhidas nos pátios de estocagem do Complexo de Tubarão, em Vitória, ES, provenientes das minas de extração de Minas Gerais.

### 3.2.2 Montagem do experimento

#### i) Fluxograma

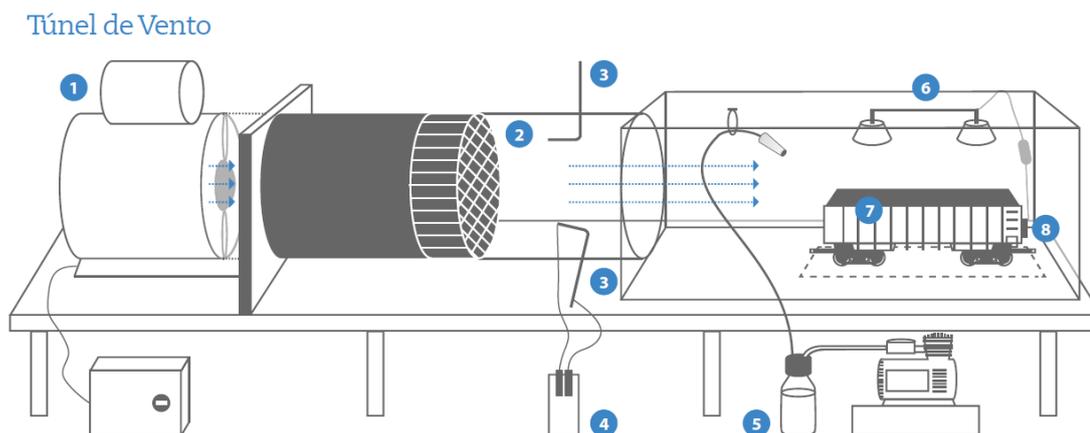


#### ii) Túnel de vento

O experimento foi desenvolvido no Túnel de Vento da VALE, simulando de forma confiável o real transporte de minério de ferro na EFVM. Um Túnel de Vento é um instrumento de pesquisa utilizado com a finalidade de estudar o movimento do ar através de objetos sólidos, onde seus componentes são arranjados de tal maneira a fornecer condições de escoamento com velocidade aproximadamente constante e com baixa turbulência na seção de teste (BELL; MEHTA, 1988).

Para este experimento, o objetivo do Túnel de Vento foi simular o arraste das partículas de minério pelo vento.

O Túnel de Vento da VALE é composto pelas seguintes partes (Figura 22):



**Figura 22:** Esquema do Túnel de Vento da VALE S.A.

FONTE: VALE

1) Ventilador axial:

Conjunto formado pelo Motor, Fonte e Ventilador axial (com inversor de frequência) na extremidade do tubo metálico para controlar a velocidade do fluxo de ar no interior do túnel.

2) Retificador de fluxo:

É utilizado para normalizar o perfil de velocidade e escoamento do fluido gasoso. Este dispositivo é colocado na frente do ventilador, conforme mostra o infográfico.

3) Tubo de Pitot:

É utilizado para aferir a velocidade dos gases no interior do túnel, quando necessário. Este instrumento é utilizado para medir a velocidade do fluxo de ar a partir da pressão de velocidade (diferença entre pressão total e estática). Para tanto, o instrumento é posicionado fixamente num ponto da seção retangular de acrílico e sua extremidade é acoplada a um manômetro de coluna d'água. O Tubo de Pitot precisa ser calibrado pelo menos uma vez ao ano.

#### 4) Manômetro

#### 5) Sistema de aspersão de água / Simulação de chuva:

Tem por finalidade simular episódios de chuva tais quais ocorrem no transporte em escala real. É um sistema simples formado por uma garrafa-reservatório de 1 litro, um mini compressor de ar, mangueira e bico aspersor de água. Para tanto se adiciona uma quantidade conhecida de água na garrafa.

Sua tampa tem 2 furos, um para a entrada de ar do mini compressor e outro de saída de água pela mangueira e bico aspersor. Liga-se o compressor por determinado intervalo de tempo, e após o fim deste tempo, mede-se a água restante na garrafa para saber qual o volume foi aspergido no mini vagão com o minério mais ou menos produto de teste.

#### 6) Lâmpadas:

São instaladas na parte superior do túnel, sobre o mini vagão. Elas são utilizadas para simular a incidência da radiação solar sobre a carga no vagão.

#### 7) Mini vagão:

É um modelo reduzido dos vagões utilizados pela VALE. Ele possui dimensões de 43,0 x 11,5 x 10,0 cm. Acoplado ao mini vagão há um sistema vibratório com um *timer* para controle dos intervalos de vibração.

#### 8) Módulo de vibração:

Deve ser ligado na tomada com o *timer* intermitente de 15 em 15 minutos.

Para a realização do experimento, construiu-se um modelo de vagão, conforme mostrado na Figura 23.



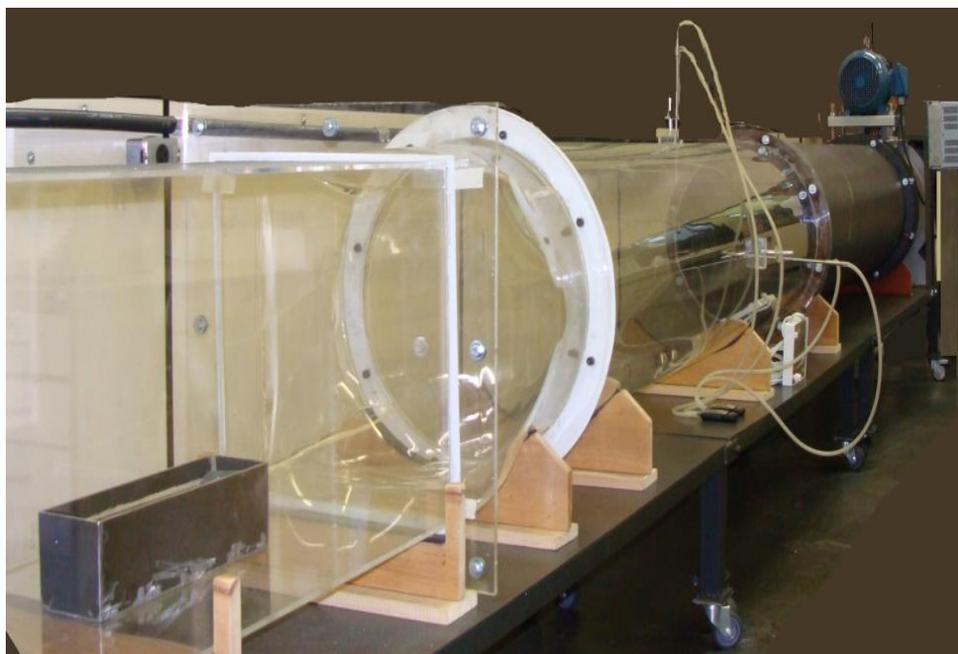
**Figura 23:** Modelo de vagão utilizado no experimento (43,0 x 11,5 x 10,0 cm)

Para simular a velocidade real dos vagões que transportam minério na EFVM, que é de 60 km/h, utilizou-se um fluxo de ar com essa velocidade. Esta velocidade do fluxo de ar no interior do duto foi determinada a partir de medições das pressões de velocidade com uso de um Tubo de Pitot Standard, de acordo com procedimento L9.222 da CETESB (CETESB, 1992).

As Figuras 24 e 25 mostram com detalhe o Túnel de Vento utilizado no experimento.



**Figura 24:** Túnel de Vento



**Figura 25:** Túnel de Vento

A lista a seguir configura a composição mínima de materiais de apoio para a realização de testes no Túnel de Vento.

1. Balança de precisão semi-analítica;
2. Estufa de secagem;
3. Termo-higrômetro digital;
4. Cronômetro;
5. Dessecadores com sílica gel;
6. Bombona de plástico com anel metálico de vedação;
7. Sacos plásticos para acondicionamento do minério na bombona;
8. Câmera fotográfica;
9. Recipientes de alumínio;
10. Pincéis;
11. Modelador de pilha de alumínio;
12. Peneira de aproximadamente 5mm;
13. Pás pequenas;
14. Água destilada;
15. Placa de isopor;
16. Borrifador;
17. Provetas;
18. Frasco-reservatório;
19. Mangueiras de plástico;
20. Papel-toalha;
21. Luvas;
22. Planilhas (serão apresentadas no decorrer deste guia);
23. Ferramentas (alicates, chaves de fenda, tesoura, etc.);
24. Mini compressor;
25. Bico aspersor de água.

As Figuras 26 e 27 mostram os utensílios de apoio para o teste no Túnel de Vento.



**Figura 26:** Utensílios para realização dos testes no Túnel de Vento



**Figura 27:** Utensílios para realização dos testes no Túnel de Vento

iii) Preparo das soluções de polímero

Para aplicação dos polímeros na pilha de minério do vagão, primeiro foi realizado o preparo das soluções, de acordo com as concentrações definidas pelo fabricante, conforme descrito na Tabela 3.

**Tabela 3:** Relação dos polímeros utilizados e suas respectivas concentrações

<b>Produto</b>	<b>Concentração em massa na solução de água (%)</b>
PRODUTO "X"	1,0
PRODUTO "A"	0,5 e 0,3
PRODUTO "B"	1,0
PRODUTO "C"	1,0
PRODUTO "D"	2,0
PRODUTO "E"	1,0
PRODUTO "F"	1,0
PRODUTO "G"	1,0
PRODUTO "H"	2,0
PRODUTO "I"	2,0
PRODUTO "J"	1,0
PRODUTO "K"	1,0; 0,5 e 0,3

FONTE: Fabricantes

Cada um dos supressores testados foi diluído em água de acordo com as concentrações descritas na Tabela 3. Após a diluição, a solução foi transferida para o borrifador. Para a execução do experimento, a solução foi borrifada sobre a pilha de minério de forma uniforme e contínua, sendo utilizada uma massa de 100g de solução em cada teste.

#### iv) Preparo da amostra de minério

##### - Determinação da umidade do minério

Para a realização dos testes no túnel e vento, o minério deve possuir umidade de 7%. Para a determinação da umidade inicial do minério foram seguidos os seguintes passos:

1. Selecionou-se um recipiente para disposição do minério. Este recipiente foi pesado vazio e sua massa foi anotada;
2. Realizou-se a pesagem da massa do recipiente (g). Após a obtenção da massa, realizou-se a tara da balança;
3. Executou-se a adição de 3000 g de minério no recipiente;
4. A massa exata do minério foi anotada, sendo caracterizada como  $m_1$ , antes.
5. Depois de pesada, a amostra foi direcionada para uma estufa a 110°C, onde ficou por 2 horas (NBR ISO 3087:2003);
6. Após este período, retirou-se a amostra da estufa, e foi deixada esfriar no dessecador por uma hora;
7. Após este período, a amostra foi retirada e direcionada para pesagem, obtendo-se a massa  $m_2$  mais ou menos a massa do recipiente. Subtraindo-se a massa do recipiente, tem-se o valor da massa do minério seco ( $m_2$ ).

Para o cálculo da umidade utilizou-se a seguinte relação:

$$Umidade = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100$$

Onde:

$m_1$  = massa do minério úmido (g);

$m_2$  = massa do minério seco (g).

- Adequação da umidade do minério

O minério para a realização dos testes no túnel deve possuir umidade de 7%, tal qual o minério que é carregado nos vagões em escala real. O minério recebido para testes necessita de ajuste de umidade, realizando-se as etapas descritas abaixo:

1. Providenciar um recipiente vazio;
2. Acoplar um saco plástico ao recipiente;
3. Transferir “X” de quilogramas de minério para a bombona. Anotar o valor;
4. Adicionar quantidade de água suficiente para a umidade ser igual a 7 % de acordo com o cálculo a seguir:

Cálculo da quantidade de água necessária:

O minério inicial possui umidade média de “Y” %, que deverá ser medida antes de se iniciar este procedimento, conforme descrito no item anterior. Deseja-se atingir uma umidade de 7%, assim faz-se um balanço de massa para a quantidade de água necessária.

$$M_f = M_b \times \left( \frac{1 - \left(\frac{Y}{100}\right)}{1 - \left(\frac{7}{100}\right)} - 1 \right)$$

Onde:

$M_f$  = Massa de água a ser adicionada;

$M_b$  = Massa “X” de minério adicionado ao recipiente (kg);

1. Fechar o saco plástico e em seguida a bombona, verificando completa vedação;
2. Homogeneizar a mistura minério-água rolando a bombona no chão por 30 minutos;
3. Ao retirar amostras para os testes, manter o saco plástico e a bombona abertos o menor tempo possível.

v) Execução do teste no túnel de vento

- Preparo do vagão

Para preparo do vagão, deve-se limpar o mesmo. Após esta etapa, o vagão deve ser pesado e sua massa anotada, sendo a “Massa vagão vazio” (g).

Para início do experimento no túnel de vento, retirou-se uma amostra de minério com umidade ajustada, conforme item anterior, tanto do fundo da bombona como da superfície, assegurando a maior homogeneidade possível.

Após a coleta da amostra, realizou-se a uniformização da granulometria do minério, por meio de uma peneira, e colocou-se o minério no vagão, Figura 8, evitando que este fosse compactado na medida em que ia sendo disposto, simulando as condições reais, que ocorrem nos carregamentos da EFVM.



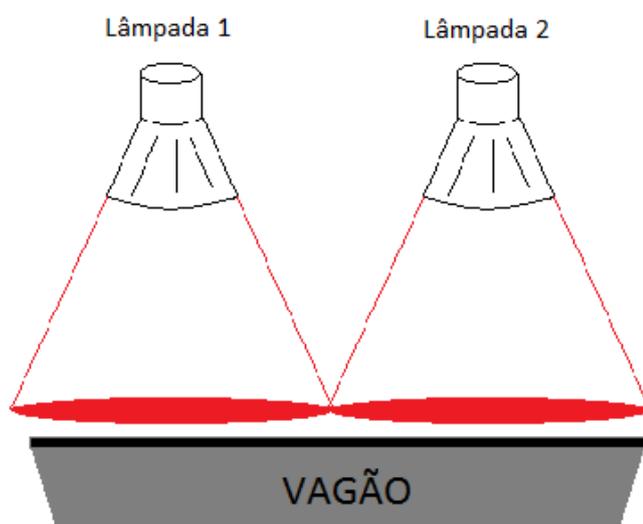
**Figura 28:** Vagão carregado com minério (43,0 x 11,5 x 10,0 cm)

Para simular o formato da pilha de minério nos vagões, utilizou-se um molde, conforme mostrado na Figura 29.



**Figura 29:** Vagão carregado com minério

Após a uniformização das pilhas, procedeu-se com a remoção do excesso de minério das bordas do vagão, com o uso de um pincel. Em seguida, o vagão foi exposto a trinta minutos de incidência direta de um conjunto de lâmpadas dicróicas ligadas, representadas pela Figura 30.



**Figura 30:** Detalhe das lâmpadas utilizadas para simular luz solar

Para a simulação de exposição à luz solar foram utilizadas duas lâmpadas dicróicas, seguindo o procedimento recomendado pela VALE (2016).

Em seguida, o vagão de minério foi pesado e sua massa anotada como “Massa de minério seco inicial mais o vagão (g)”. Com o vagão ainda na balança, executou-se a tara da balança<sup>1</sup> e adicionou-se 100 g de solução do produto a ser testado de forma homogênea.

#### - Execução do teste

Para a execução do teste, o vagão, carregado com minério com supressor de pó, foi posicionado no interior do túnel, na parte central demarcada de acordo com a Figura 31, com o cuidado de não se perder material.



**Figura 31:** Detalhe do vagão cheio de minério

---

<sup>1</sup> Zerar o peso na balança.

Antes do início do teste em Túnel de Vento, ligou-se o sistema vibratório com o *timer*, ajustado em intervalos de quinze minutos, na corrente elétrica, o túnel de vento e o compressor responsável pela aspersão de água sobre o vagão.

A aspersão ocorreu por 5 minutos. Em seguida, o vagão foi encaminhado para uma nova pesagem, e o volume de água utilizado foi anotado também, obtendo-se a massa de minério após aplicação de supressor (g) mais a massa do vagão.

Após a pesagem, deu-se início ao teste no interior do túnel do vento. O teste teve duração de 6 horas. A massa do vagão com minério foi anotada após 30 minutos do início do teste e depois após 1h, 2h, 3h, 4h, 5h e 6h.

Ao término do teste, o motor foi desligado, o vagão foi removido do túnel, levado para secagem e, após 12 h do início do teste, foi novamente pesado e sua massa anotada [Minério seco após a 12ª hora (g)].

Fez-se o balanço de massa e verificou-se se houve perda de minério ou a massa de minério seco permaneceu inalterada. Além disso foi realizada uma avaliação visual de resistência à vibração (criação de fissuras e/ou rachaduras) bem como as aferições, em cada teste, do teor de umidade final (retenção de água) do minério analisado.

Foram realizados em média dois testes para cada concentração dos polímeros supressores de pó estudados.

Na pesagem dos materiais para a composição das tabelas a seguir, usou-se a seguinte balança, Figura 32.



**Figura 32:** Balança Marca SHIMADZU, modelo UX6200H

FONTE: Fabricante (Shimadzu)

#### DADOS TÉCNICOS RELEVANTES DA BALANÇA:

- Classe de exatidão: 11
- Carga máxima: 6.200 g
- Sensibilidade: 0,01 g
- Repetitividade: 0,01 g
- Linearidade: 0,02 g
- Tempo de resposta: 3 s
- Temperatura de operação: 5 a 40 °C
- Dimensões do prato: 170x180 mm
- Peso: 2,9 Kg

## 4 RESULTADOS

As Tabelas 5 a 19 apresentam os resultados obtidos nos experimentos com os diferentes tipos de polímeros. Foram avaliadas as perdas de umidade e de massa de minério nas amostras tratadas com os diferentes polímeros, quando submetidos aos ensaios com o túnel de vento. Foi realizada também uma avaliação visual durante o ensaio, para observar se houve emissão atmosférica de material particulado e se a película de polímero foi danificada ou permaneceu inalterada.

Para o propósito do estudo, foram realizados somente dois testes para cada produto e respectiva concentração. A quantidade de testes realizadas foi reduzida devido ao curto tempo disponível.

Durante os testes, cada produto proporcionou uma análise particular, onde observou-se a capacidade de cada um em resistir às intempéries simuladas e em manter intacta a película formada sobre o minério.

#### 4.1 TESTES

Os testes foram realizados durante um dia para cada produto. Apresenta-se a seguir os resultados dos testes realizados nos 12 produtos (polímeros) selecionados para análise. As concentrações variaram de 0,3 a 2,0%, de acordo com a definição do fabricante. Convencionou-se o uso de nomes fictícios, representados por letras, aos produtos para preservar a identidade técnica e comercial dos mesmos, por questões éticas. Comparou-se os resultados dos produtos entre si, mostrando o custo-benefício de cada produto testado. Ressaltamos o desempenho do Produto “K”, elaborado à base de PET e patentado pela VALE.

Descreve-se na Tabela 4 a memória de cálculo dos valores obtidos durante os testes, registrados nas Tabelas de 5 a 19. No final de cada teste, quando a “massa de minério seco final” foi inferior à “massa de minério seco inicial”, entendeu-se que houve perda de massa de minério, representado assim por um sinal negativo (-).

**Tabela 4:** Metodologia de cálculo dos valores obtidos nos ensaios

<b>Produto</b>	
<b>Concentração % (m/m) = Porcentagem massa/massa</b> <b>Exemplo: Concentração 0,3% (m/m) = 0,3 g do produto em 99,7 g de água</b>	
<b>Itens medidos</b>	<b>Memória de cálculo</b>
Umidade relativa média do ar (%)	Medição no ambiente interno, considerando uma incerteza de 1%.
Temperatura média do dia (°C)	Medição no ambiente interno
Vagão vazio (g)	Massa do vagão vazio
Vagão + minério com 7% de umidade (g)	Massa do vagão + minério úmido 7%
Minério seco inicial (g)	(Massa do vagão + minério úmido) – (massa do vagão vazio) – 7% referente à umidade.
Massa de supressor (g)	Quantidade de solução de supressor a ser aplicada (100 g)
Massa de minério após aplicação de supressor (g)	Massa do vagão mais o minério inicial úmido, menos a massa do vagão vazio, mais a massa do supressor.
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)	Umidade total da amostra após a adição de 7% de umidade e aplicação do supressor.
Umidade final (%)	Diferença % entre o minério seco após 12 h e o minério seco após 6 h.
Perda de umidade total (%)	Umidade inicial menos a umidade final
Massa de minério úmido após 30 min (g)	Massa total após 30 min menos a massa do vagão
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)	Massa total após a 1ª hora menos a massa do vagão
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)	Massa total após a 2ª hora menos a massa do vagão
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)	Massa total após a 3ª hora menos a massa do vagão
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)	Massa total após a 4ª hora menos a massa do vagão
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)	Massa total após a 5ª hora menos a massa do vagão
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)	Massa total após a 6ª hora menos a massa do vagão
Minério seco após a 12ª hora (g)	Massa total após a 12ª hora menos a massa do vagão
Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)	Massa de minério seco após a 12ª hora menos a massa do minério seco
Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)	Relação percentual entre a massa de minério seco após a 12ª hora e a massa de minério inicial.
Perda de minério seco após 12ª hora (g)	Massa de minério seco após a 12ª hora - a massa do minério seco inicial

**Tabela 5:** Resultados dos testes com o Produto “X” – Concentração de 1,0%

<b>Produto “X”</b>					
<b>Concentração: 1,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>05/10/2016</b>	<b>06/10/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			73	95	84
Temperatura média do dia (°C)			25	21	23
Vagão vazio (g)			1558,41	1558,43	1558,42
Vagão + minério inicial com 7% de umidade (g)			4375,56	4370,22	4372,89
Minério seco inicial (g)			2619,94	2614,96	2617,46
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2917,15	2911,79	2914,47
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,34	11,35	11,35
Umidade final (%)			2,43	5,63	4,03
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>8,91</b>	<b>5,72</b>	<b>7,31</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			2911,33	2906,50	2908,92
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2843,31	2881,2	2862,26
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2781,98	2869,23	2825,61
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2736,74	2850,96	2793,85
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2717,45	2831,5	2774,48
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2707,95	2807,51	2757,73
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2700,46	2779,49	2739,98
Minério seco após a 12ª hora (g)			2636,31	2631,26	2633,79
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>16,36</b>	<b>16,30</b>	<b>16,33</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,62</b>	<b>0,62</b>	<b>0,62</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 6:** Resultados dos testes com o Produto “A” – Concentração de 0,5%

<b>Produto “A”</b>					
<b>Concentração 0,5 % (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>21/11/2016</b>	<b>22/11/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			64	65	64,5
Temperatura média do dia (°C)			25	27	26
Vagão vazio (g)			1559,58	1560,04	1559,81
Vagão + minério inicial úmido (g)			4321,94	4384,50	4353,22
Minério seco inicial (g)			2568,99	2626,74	2597,87
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2862,36	2924,46	2893,41
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,42	11,33	11,38
Umidade final (%)			1,84	1,88	1,86
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>9,58</b>	<b>9,45</b>	<b>9,52</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			2857,65	2922,35	2890,00
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2770,23	2831,42	2800,83
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2720,22	2758,26	2739,24
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2681,40	2715,41	2698,41
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2667,05	2695,74	2681,40
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2646,86	2682,27	2664,57
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2638,37	2672,57	2655,47
Minério seco após a 12ª hora (g)			2590,77	2623,16	2606,97
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>21,78</b>	<b>-3,59</b>	<b>9,09</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,85</b>	<b>-0,14</b>	<b>0,36</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>-3,59</b>	<b>-1,79</b>

**Tabela 7:** Resultados dos testes com o Produto “A” – Concentração de 0,3%

<b>Produto “A”</b>					
<b>Concentração 0,3 % (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>25/11/2016</b>	<b>28/11/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			75	67	71
Temperatura média do dia (°C)			24	27	25,5
Vagão vazio (g)			1560,85	1560,66	1560,76
Vagão + minério inicial úmido (g)			4357,85	4311,96	4334,91
Minério seco inicial (g)			2601,21	2558,71	2579,96
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2897,00	2851,30	2874,15
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,37	11,44	11,40
Umidade final (%)			2,49	1,84	2,16
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>8,88</b>	<b>9,60</b>	<b>9,24</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			2891,91	2843,42	2867,67
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2830,96	2777,20	2804,08
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2790,71	2712,98	2751,85
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2734,47	2676,10	2705,29
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2715,34	2658,75	2687,05
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2694,92	2645,66	2670,29
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2679,20	2634,05	2656,63
Minério seco após a 12ª hora (g)			2614,18	2586,57	2600,38
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>12,97</b>	<b>27,86</b>	<b>20,42</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,50</b>	<b>1,09</b>	<b>0,79</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 8:** Resultados dos testes com o Produto “B” – Concentração de 1,0 %

<b>Produto “B”</b>					
<b>Concentração: 1,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>06/06/2016</b>	<b>08/06/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			52,3	68,1	60,2
Temperatura média do dia (°C)			32	25	28,5
Vagão vazio (g)			1554,03	1554,47	1554,25
Vagão + minério inicial úmido (g)			4360,20	4367,73	4363,97
Minério seco inicial (g)			2609,73	2616,33	2613,03
Massa de supressor (g)			100,00	100,00	100,00
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2906,17	2913,26	2909,72
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,36	11,35	11,35
Umidade final (%)			3,38	3,90	3,64
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>7,98</b>	<b>7,45</b>	<b>7,71</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			2902,16	2910,68	2906,42
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2826,85	2861,63	2844,24
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2798,72	2822,43	2810,58
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2763,57	2789,78	2776,68
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2737,65	2773,83	2755,74
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2723,10	2755,58	2739,34
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2707,80	2738,27	2723,04
Minério seco após a 12ª hora (g)			2619,25	2635,40	2627,33
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>9,51</b>	<b>19,07</b>	<b>14,29</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,36</b>	<b>0,73</b>	<b>0,55</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 9:** Resultados dos testes com o Produto “C” – Concentração de 2,0%

<b>Produto “C”</b>					
<b>Concentração: 2,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>08/08/2016</b>	<b>10/08/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			61	65	63
Temperatura média do dia (°C)			23	26	24,5
Vagão vazio (g)			1559,67	1558,72	1559,20
Vagão + minério inicial úmido (g)			4483,84	4498,32	4491,08
Minério seco inicial (g)			2719,47	2733,82	2726,65
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			3024,17	3039,60	3031,89
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,20	11,18	11,19
Umidade final (%)			3,32	5,04	4,18
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>7,88</b>	<b>6,14</b>	<b>7,01</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			3009,46	3034,78	3022,12
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2948,41	2952,83	2950,62
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2864,46	2897,17	2880,82
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2844,95	2869,58	2857,27
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2829,41	2855,50	2842,46
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2796,58	2847,75	2822,17
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2729,48	2836,73	2783,11
Minério seco após a 12ª hora (g)			2641,76	2700,58	2671,17
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>-77,72</b>	<b>-33,25</b>	<b>-55,48</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>-2,86</b>	<b>-1,22</b>	<b>-2,04</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>-77,72</b>	<b>-33,25</b>	<b>-55,48</b>

**Tabela 10:** Resultados dos testes com o Produto “D” – Concentração de 2,0%

<b>Produto “D”</b>					
<b>Concentração: 2,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>01/08/2016</b>	<b>03/08/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			51	67	59
Temperatura média do dia (°C)			26	26	26
Vagão vazio (g)			1557,40	1557,96	1557,68
Vagão + minério inicial úmido (g)			4314,47	4567,67	4441,07
Minério seco inicial (g)			2564,07	2799,03	2681,55
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2857,07	3109,71	2983,39
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,43	11,10	11,26
Umidade final (%)			4,22	6,53	5,46
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>7,21</b>	<b>4,57</b>	<b>5,89</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			2854,39	3100,51	2977,45
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2750,75	3027,72	2889,24
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2710,85	2974,18	2842,52
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2669,97	2936,99	2803,48
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2639,36	2924,54	2781,95
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2619,62	2905,99	2762,81
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2434,21	2892,68	2663,45
Minério seco após a 12ª hora (g)			2335,64	2715,48	2525,56
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>-228,44</b>	<b>-83,55</b>	<b>-155,99</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>-8,91</b>	<b>-2,98</b>	<b>-5,95</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>-228,44</b>	<b>-83,55</b>	<b>-155,99</b>

**Tabela 11:** Resultados dos testes com o Produto “E” - Concentração de 1,0%

<b>Produto “E”</b>					
<b>Concentração: 1,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>14/04/2016</b>	<b>18/04/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			50	62	56
Temperatura média do dia (°C)			32	31	31,5
Vagão vazio (g)			1565,94	1585,06	1575,50
Vagão + minério inicial úmido (g)			4317,76	4498,47	4408,12
Minério seco inicial (g)			2559,19	2709,47	2634,33
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2851,82	3013,41	2932,62
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,43	11,22	11,33
Umidade final (%)			2,83	4,20	3,52
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>8,60</b>	<b>7,02</b>	<b>7,81</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			-	-	-
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2765,49	2950,27	2857,88
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2735,31	2903,36	2819,34
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2716,97	2871,81	2794,39
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2701,19	2856,15	2778,67
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2685,66	2843,22	2764,44
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2635,65	2834,44	3537,70
Minério seco após a 12ª hora (g)			2563,07	2720,13	2641,60
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>3,88</b>	<b>10,66</b>	<b>7,27</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,15</b>	<b>0,39</b>	<b>0,27</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 12:** Resultados dos testes com o Produto “F” – Concentração de 1,0%

<b>Produto “F”</b>					
<b>Concentração: 1,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>25/04/2016</b>	<b>26/04/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			53	54	53,5
Temperatura média do dia (°C)			33	35	34
Vagão vazio (g)			1580,78	1583,31	1582,05
Vagão + minério inicial úmido (g)			4170,78	4598,48	4384,63
Minério seco inicial (g)			2408,70	2804,10	2606,40
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2690,00	3115,17	2902,59
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,68	11,09	11,39
Umidade final (%)			3,71	2,62	3,17
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>7,96</b>	<b>8,48</b>	<b>8,22</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			-	-	-
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2593,28	3005,17	2799,23
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2573,24	2962,47	2767,86
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2534,30	2940,40	2737,35
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2514,91	2925,9	2720,41
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2471,24	2914,02	2692,63
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2423,02	2905,93	2664,48
Minério seco após a 12ª hora (g)			2336,23	2831,84	2584,04
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>-72,47</b>	<b>27,73</b>	<b>-22,37</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>-3,01</b>	<b>0,99</b>	<b>-1,01</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>-72,47</b>	<b>0,00</b>	<b>-22,37</b>

**Tabela 13:** Resultados dos testes com o Produto “G” – Concentração de 1,0%

<b>Produto “G”</b>					
<b>Concentração: 1,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>03/05/2016</b>	<b>05/05/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			57	55	56
Temperatura média do dia (°C)			29	29	29
Vagão vazio (g)			1584,10	1585,09	1584,60
Vagão + minério inicial úmido (g)			4471,73	4392,6	4432,17
Minério seco inicial (g)			2685,49	2610,98	2648,24
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2987,63	2907,51	2947,57
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,25	11,36	11,30
Umidade final (%)			4,48	3,67	4,08
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>6,77</b>	<b>7,68</b>	<b>7,23</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			-	-	-
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2921,37	2837,4	2879,39
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2896,13	2808,24	2852,19
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2873,98	2785,03	2829,51
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2854,76	2756,04	2805,40
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2840,57	2738,05	2789,31
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2830,13	2722,82	2776,48
Minério seco após a 12ª hora (g)			2708,76	2626,32	2667,54
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>23,27</b>	<b>15,34</b>	<b>19,30</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,87</b>	<b>0,59</b>	<b>0,73</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 14:** Resultados dos testes com o Produto “H” – Concentração de 2,0%

<b>Produto “H”</b>					
<b>Concentração: 2,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>28/09/2016</b>	<b>29/09/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			77	70	73,5
Temperatura média do dia (°C)			25	28	26,5
Vagão vazio (g)			1561,38	1560,80	1561,09
Vagão + minério inicial úmido (g)			4519,23	4423,37	4471,30
Minério seco inicial (g)			2750,80	2662,19	2706,50
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			3057,85	2962,57	3010,21
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,16	11,28	11,22
Umidade final (%)			2,98	1,60	2,29
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>8,18</b>	<b>9,68</b>	<b>8,93</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			3050,13	2953,88	3002,01
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2988,53	2857,08	2922,81
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2933,87	2798,71	2866,29
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2892,92	2761,50	2827,21
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2875,07	2745,11	2810,09
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2862,71	2732,19	2797,45
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2853,48	2723,09	2788,29
Minério seco após a 12ª hora (g)			2770,97	2680,11	2725,54
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>20,17</b>	<b>17,92</b>	<b>19,04</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,73</b>	<b>0,67</b>	<b>0,70</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 15:** Resultados dos testes com o Produto “I” – Concentração de 2,0%

<b>Produto “I”</b>				
<b>Concentração: 2,0% (m/m)</b>				
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>MÉDIA</b>	
		<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	
		<b>30/09/2016</b>	<b>03/10/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)		81	88	84,5
Temperatura média do dia (°C)		25	22	23,5
Vagão vazio (g)		1560,38	1550,01	1555,20
Vagão + minério inicial úmido (g)		4420,18	4503,48	4461,83
Minério seco inicial (g)		2659,61	2746,48	2703,05
Massa de supressor (g)		100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)		2959,80	3053,47	3006,64
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)		11,29	11,17	11,23
Umidade final (%)		2,22	0,65	1,44
<b>Perda de umidade total (%)</b>		<b>9,07</b>	<b>10,52</b>	<b>9,79</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)		2952,82	3045,24	2999,03
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)		2885,80	2989,42	2937,61
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)		2830,03	2946,78	2888,41
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)		2770,87	2894,93	2832,90
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)		2759,57	2862,41	2810,99
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)		2737,62	2852,26	2794,94
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)		2732,50	2852,26	2792,38
Minério seco após a 12ª hora (g)		2673,03	2833,80	2753,42
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>		<b>13,42</b>	<b>87,07</b>	<b>50,24</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>		<b>0,50</b>	<b>3,17</b>	<b>1,84</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 16:** Resultados dos testes com o Produto “J” – Concentração de 2,0%

<b>Produto “J”</b>					
<b>Concentração: 2,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>13/10/2016</b>	<b>25/10/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			75	75	75
Temperatura média do dia (°C)			25	25	25
Vagão vazio (g)			1558,16	1559,85	1559,01
Vagão + minério inicial úmido (g)			4450,15	4244,50	4347,33
Minério seco inicial (g)			2689,55	2496,72	2593,14
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2991,99	2784,65	2888,32
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,24	11,53	11,39
Umidade final (%)			2,55	2,09	2,32
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>8,69</b>	<b>9,44</b>	<b>9,07</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			2983,89	2779,72	2881,81
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2912,70	2698,72	2805,71
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2855,86	2652,64	2754,25
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2814,76	2598,40	2706,58
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2798,08	2584,44	2691,26
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2784,85	2562,98	2673,92
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2777,10	2553,70	2665,40
Minério seco após a 12ª hora (g)			2708,15	2501,51	2604,83
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>18,60</b>	<b>4,79</b>	<b>11,69</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,69</b>	<b>0,19</b>	<b>0,44</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 17:** Resultados dos testes com o Produto “K” – Concentração de 1,0%

<b>Produto “K”</b>					
<b>Concentração: 1,0% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>23/03/2016</b>	<b>29/03/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			55,00	54,00	54,50
Temperatura média do dia (°C)			33,00	31,00	32,00
Vagão vazio (g)			1601,84	1602,46	1602,15
Vagão + minério inicial úmido (g)			4754,24	4639,98	4697,11
Minério seco inicial (g)			2931,73	2824,89	2878,31
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			3252,40	3137,52	3194,96
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			10,94	11,07	11,00
Umidade final (%)			3,76	4,20	3,98
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>7,18</b>	<b>6,87</b>	<b>7,02</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			3246,91	3138,10	3192,51
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			3190,47	3066,99	3128,73
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			3151,64	3037,07	3094,36
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			3120,85	3013,09	3066,97
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			3102,21	2990,30	3046,26
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			3087,63	2975,95	3031,79
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			3073,40	2963,29	3018,35
Minério seco após a 12ª hora (g)			2961,98	2843,84	2902,91
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>30,25</b>	<b>18,95</b>	<b>24,60</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>1,03</b>	<b>0,67</b>	<b>0,85</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 18:** Resultados dos testes com o Produto “K” – Concentração de 0,5%

<b>Produto “K”</b>					
<b>Concentração: 0,5% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>15/12/2016</b>	<b>16/12/2016</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			80	75	77,5
Temperatura média do dia (°C)			25	25	25
Vagão vazio (g)			1564,4	1562,24	1563,32
Vagão + minério inicial úmido (g)			4357,09	4340,46	4348,78
Minério seco inicial (g)			2597,20	2583,74	2590,47
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			2892,69	2878,22	2885,46
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			11,38	11,40	11,39
Umidade final (%)			2,59	3,49	3,04
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>8,79</b>	<b>7,91</b>	<b>8,35</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			2887,7	2878,33	2883,02
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			2803,57	2836,05	2819,81
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			2752,12	2789,58	2770,85
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			2724,88	2737,13	2731,01
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			2706,97	2720,94	2713,96
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			2694,27	2700,01	2697,14
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			2661,05	2694,84	2677,95
Minério seco após a 12ª hora (g)			2593,93	2603,95	2598,94
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>-3,27</b>	<b>20,20</b>	<b>8,47</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>-0,13</b>	<b>0,78</b>	<b>0,33</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>-3,27</b>	<b>0,00</b>	<b>-1,64</b>

**Tabela 19:** Resultados dos testes com o Produto “K” – Concentração de 0,3%

<b>Produto “K”</b>					
<b>Concentração: 0,3% (m/m)</b>					
<b>TESTES</b>	<b>/</b>	<b>DATA</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>MÉDIA</b>
			<b>08/05/2017</b>	<b>09/05/2017</b>	
Umidade relativa média do ar (%)			70	74	72
Temperatura média do dia (°C)			26	27	26,5
Vagão vazio (g)			1570,37	1570,86	1570,62
Vagão + minério inicial úmido (g)			4674,52	4674,68	4674,60
Minério seco inicial (g)			2886,86	2886,74	2886,71
Massa de supressor (g)			100	100	100
Massa de minério após aplicação de supressor (g)			3204,15	3203,82	3203,99
Umidade inicial (água + solução de supressor) (%)			10,99	10,98	10,99
Umidade final (%)			3,26	2,64	2,95
<b>Perda de umidade total (%)</b>			<b>7,73</b>	<b>8,35</b>	<b>8,04</b>
Massa de minério úmido após 30 min (g)			3212,49	3201,95	3207,22
Massa de minério úmido após 1ª hora (g)			3168,33	3145,88	3157,11
Massa de minério úmido após 2ª hora (g)			3110,33	3090,41	3100,37
Massa de minério úmido após 3ª hora (g)			3080,15	3050,97	3065,56
Massa de minério úmido após 4ª hora (g)			3031,68	3005,30	3018,49
Massa de minério úmido após 5ª hora (g)			3017,10	2993,80	3005,45
Massa de minério úmido após 6ª hora (g)			3005,28	2984,27	2994,78
Minério seco após a 12ª hora (g)			2910,35	2907,54	2908,95
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (g)</b>			<b>23,49</b>	<b>20,80</b>	<b>22,15</b>
<b>Minério seco final – minério seco inicial, após a 12ª hora (%)</b>			<b>0,81</b>	<b>0,72</b>	<b>0,77</b>
<b>Perda de minério seco após 12ª hora (g)</b>			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

## 4.2 ANÁLISE TÉCNICA

Avaliou-se a eficiência de supressores de poeira para carregamentos de minério em vagões, visando mitigar as emissões de particulados ocasionadas pela suspensão de partículas no transporte ferroviário.

Alguns indicadores de desempenho foram avaliados durante os testes, como por exemplo, a resistência da película ao vento aplicado, através de observação visual.

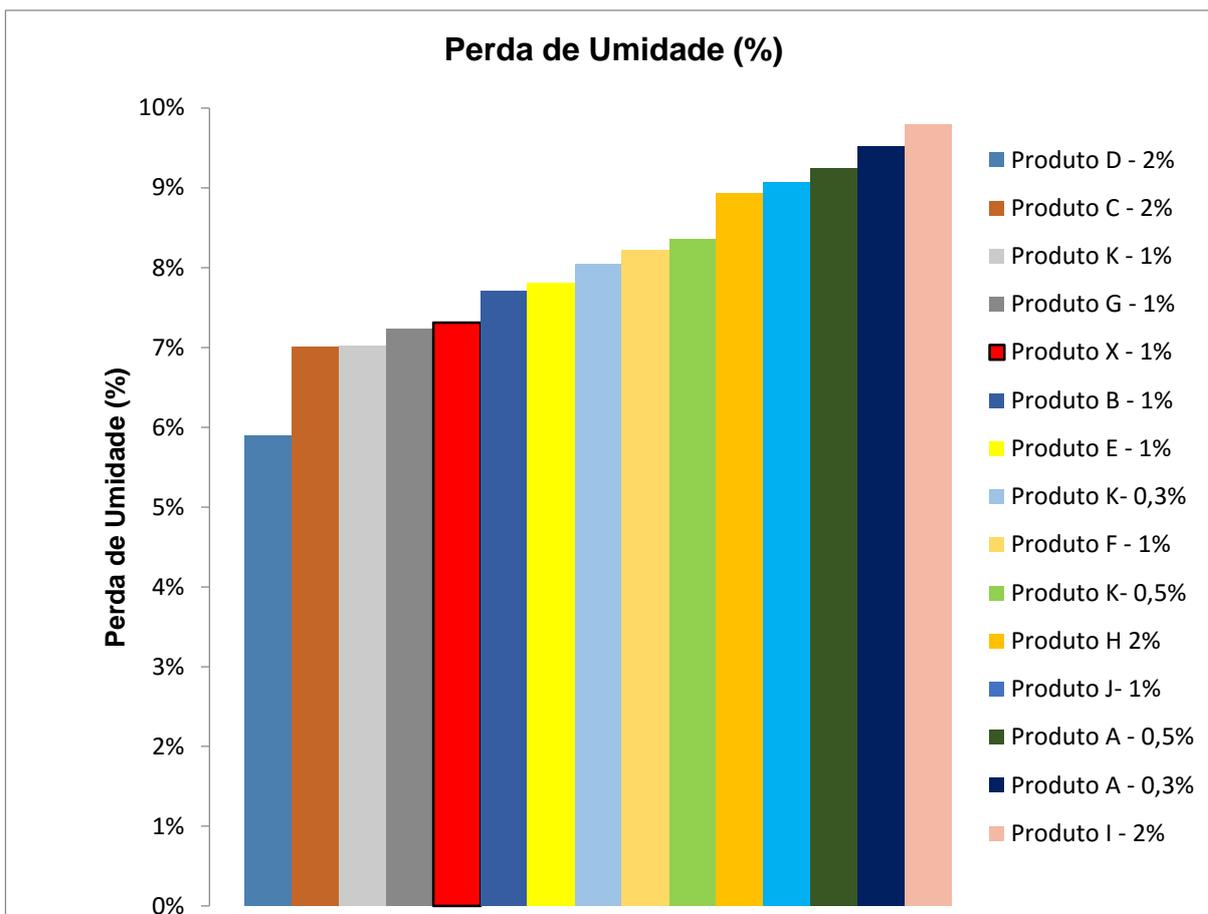
Outro fator importante foi a perda de massa, avaliada ao final de cada teste. Dentre os produtos que concluíram as seis horas previstas, sem rompimento da película, foi avaliada a perda de massa em gramas e em percentual. Em alguns testes, foi identificado ganho de massa. Este fato pode ser explicado pela característica do produto em impermeabilizar a superfície, impedindo a perda de água presente no minério (7% de umidade mais 100 g de polímero líquido), pesado após o processo de secagem em estufa. Para estes casos, foi considerado o valor de 0 (zero) para perda de massa. Esta característica de impermeabilização é considerada positiva, uma vez que mantém a umidade do material, reduzindo emissões em movimentações posteriores dos materiais. Adicionalmente, esta característica pode ser relacionada a uma maior resistência da película à variação de umidade, temperatura e chuva. Para viabilizar um único resultado por produto e facilitar a comparação entre eles, foi feita uma média aritmética dos resultados de perda de massa em gramas e percentual.

De igual modo importante, a concentração da solução, a facilidade para diluição, a aplicação do produto, a logística de recebimento, o estoque do produto e o abastecimento, foram analisados como fatores relevantes. Verificou-se que nenhum dos produtos testados possuem dificuldades de diluição ou formação de grumos.

A comparação dos resultados de perda de umidade para os diferentes aglomerantes foi possível a partir dos resultados dos testes. Através dos gráficos apresentados a seguir, mostra-se a comparação dos valores de perda de umidade e de perda de massa de minério para cada uma das amostras submetidas ao teste no Túnel de Vento, usando os supressores de poeira. O objetivo foi avaliar o melhor desempenho

para controlar a emissão de poeira de minério de ferro, nas condições de transporte da EFVM.

A Figura 33 mostra o gráfico comparativo do percentual da perda de umidade para cada uma das amostras.



**Figura 33:** Perda de umidade para cada uma das amostras avaliadas

Pode-se verificar que, dentre os supressores de poeira testados, o Produto “D”, a uma concentração de 2%, apresentou os melhores resultados com relação à perda de umidade, perdendo apenas 5,89% de umidade após 12h de realização do teste.

O Produto “C”, também a uma concentração de 2%, também apresentou valor baixo de perda de umidade se comparado com os outros polímeros testados, perdendo 7,01% de umidade.

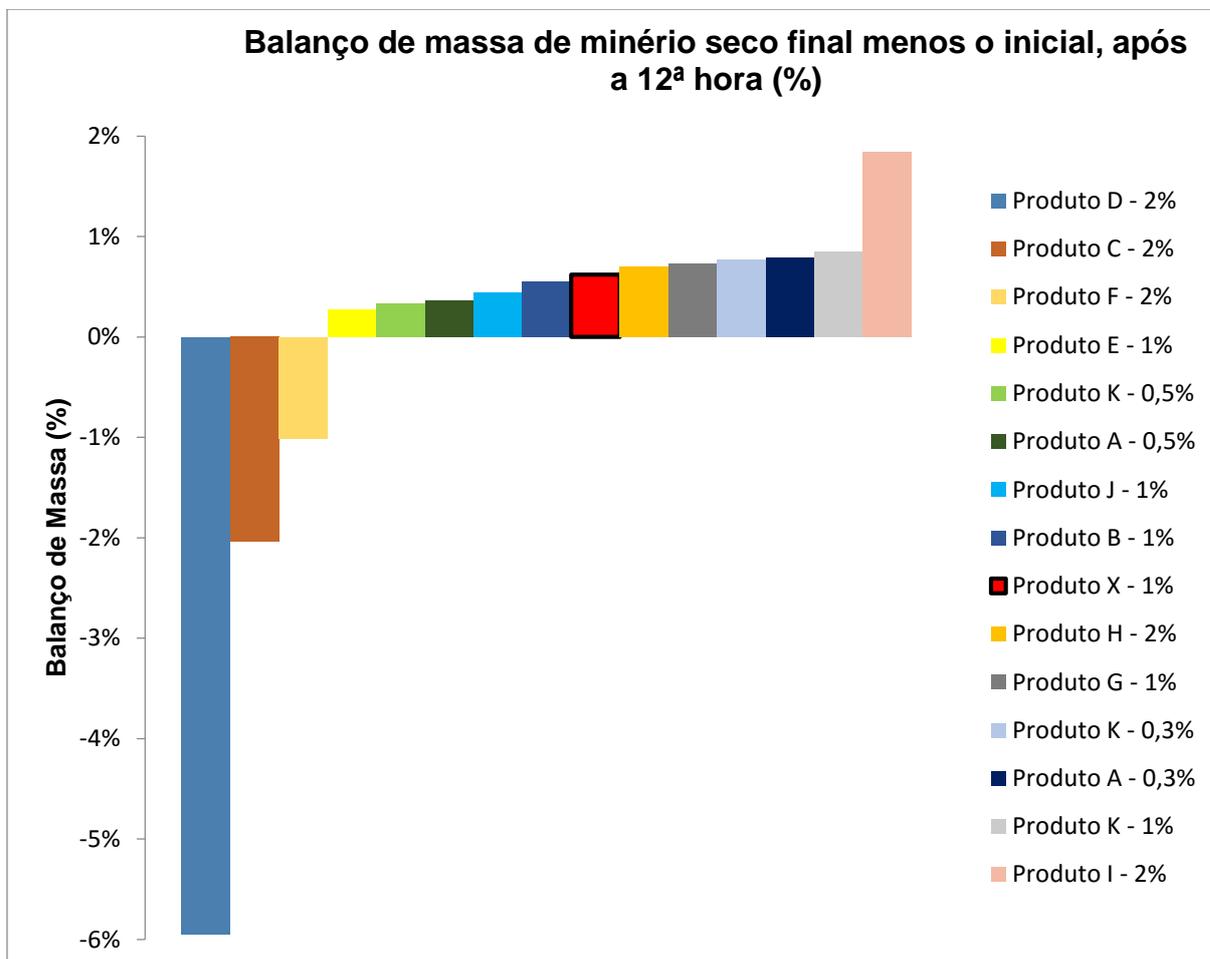
O Produto “K”, à base de PET, apresentou os melhores resultados, comparados aos demais produtos nas concentrações de 1,0%, 0,5% e 0,3%. Seus valores de perda de umidade foram 7,02%, 8,35% e 8,04%, respectivamente. Já o Produto “X”, tomado como referência, apresentou uma perda de 7,31% de umidade, em uma concentração de 1%.

Comparando-se o produto “K” com o produto “A” nas mesmas concentrações de 0,5 e 0,3%, verifica-se que o produto “K” apresentou melhores resultados. Contudo, ambos os produtos apresentaram resultados de perda de umidade maiores que os produtos “G”, “X” e “E” na concentração de 1% e os produtos “D” e “C” na concentração de 2%, o que mostra uma correlação direta entre a concentração do produto e a perda da umidade.

Considera-se que a manutenção da umidade na pilha de minério após a aplicação do polímero é essencial para evitar o arraste eólico e conseqüentemente a emissão de poeira. Além disso, a umidade garante a estabilidade da camada protetora de polímero. Comparando-se o aspecto das pilhas de minério com os diferentes supressores no início e após 6h do teste, verifica-se que boa parte dos produtos apresentaram resultados satisfatórios, sem emissão após 6h do início do teste, em vários casos.

Apesar da retenção da umidade ser um fator importante, levou-se em consideração outros fatores também importantes para a escolha do melhor polímero. Comparando os resultados com o Produto “X”, cuja perda de umidade foi de 7,31%, percebemos que os produtos “D”, “C”, “K<sub>1,0</sub>” e “G” retiveram mais umidade, com uma perda média de 6,79%, enquanto os produtos “B”, “E”, “K<sub>0,3</sub>”, “F”, “K<sub>0,5</sub>”, “H”, “J”, “A<sub>0,5</sub>”, “A<sub>0,3</sub>” e “I” perderam mais umidade, com uma perda média de 8,67%.

Com relação ao percentual do balanço de massa entre o minério seco final e o minério seco inicial, após 12h de realização do teste, a Figura 34 mostra o gráfico comparativo entre as pilhas de minério nos vagões, aspergidas com os diferentes produtos avaliados.



**Figura 34:** Balanço de massa por umidade após 12h de teste (%)

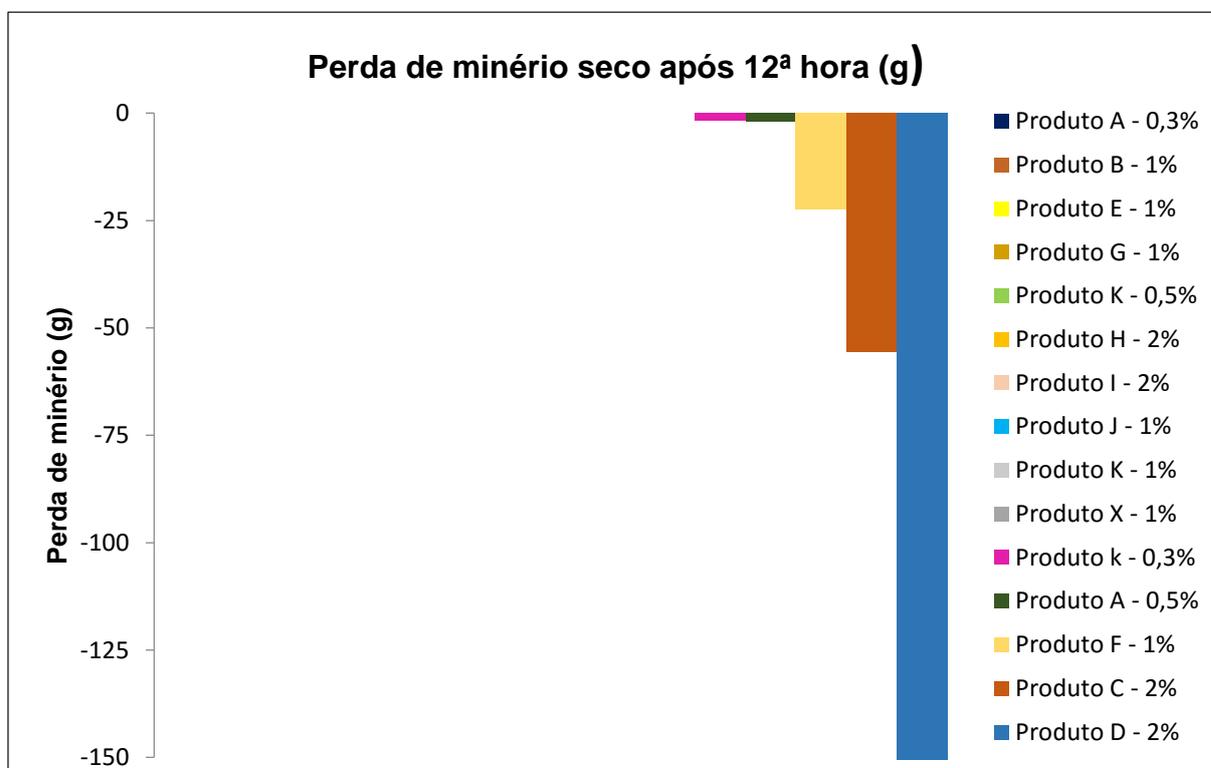
Os Produtos “D”, “C” e “F” tiveram um balanço de massa negativo, ou seja, perderam massa após as 12 horas de teste, devido à incapacidade do produto em manter a pilha de minério selada durante o ensaio e conseqüentemente ocasionaram a perda de minério no decorrer das horas, comparado ao conjunto de massa “minério mais polímero” inicial.

Os Produtos “E”, “K<sub>0,5</sub>”, “A<sub>0,5</sub>”, “J”, “B”, “X”, “H”, “G”, “K<sub>0,3</sub>”, “A<sub>0,3</sub>”, “K<sub>1,0</sub>” e “I”, tiveram um balanço de massa positivo, ou seja, não perderam massa de minério e retiveram a massa inicial de minério e umidade de 7% mais a massa do aspersor aplicado, após as 12 horas de teste, devido à capacidade do produto em reter a umidade.

Os produtos que mais permitiram a perda de umidade e minério no decorrer do teste estão em desacordo com o esperado, uma vez que a umidade permite uma maior aglomeração das partículas, retendo o minério. Esses produtos podem ser reavaliados em outras concentrações. A capacidade de supressão da poeira é diretamente ligada às características do polímero e como o mesmo reage com o minério de forma a evitar o arraste das partículas.

Comparando os resultados com o Produto "X", cujo balanço de massa foi positivo, com um percentual de 0,62%, observamos que os produtos "D", "C", "F", "E", "K<sub>0,5</sub>", "A<sub>0,5</sub>", "J" e "B" tiveram um pior desempenho com relação ao produto "X", principalmente os produtos "D", "C" e "F". Enquanto isso, os produtos "H", "G", "K<sub>0,3</sub>", "A<sub>0,3</sub>", "K<sub>1,0</sub>" e "J" tiveram um melhor desempenho comparados ao produto "X", tomado como referência.

Com relação à perda de minério após 12h de realização do teste, a Figura 35 mostra o gráfico comparativo entre os produtos testados no Túnel de Vento.

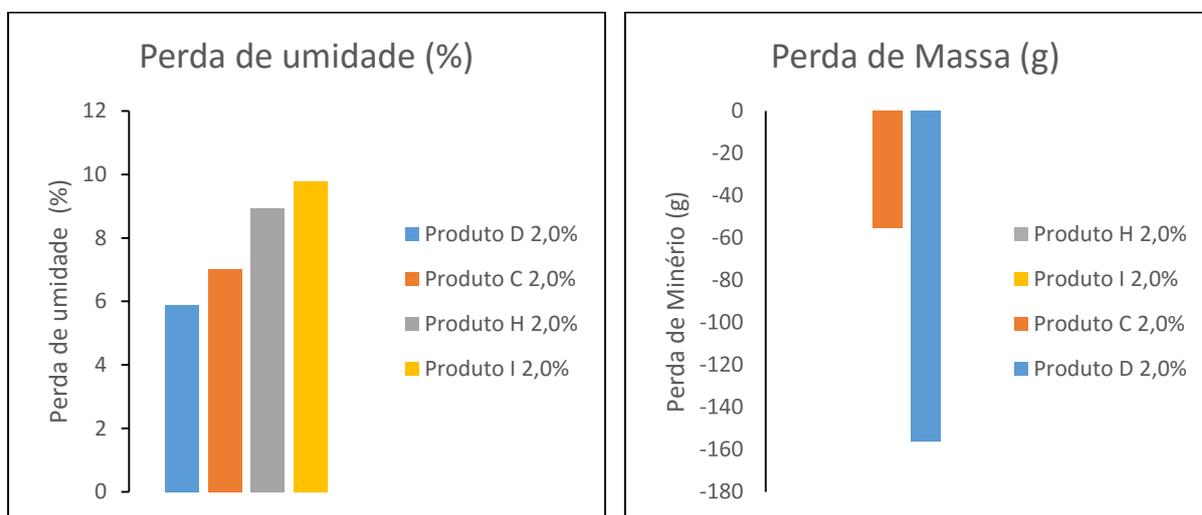


**Figura 35:** Perda de minério seco após 12ª hora de teste (g)

Os resultados mostraram que os produtos que mais perderam minério durante os testes foram os Produtos “D”, “C” e “F”. Alguns ficaram em um limite considerável, enquanto muitos apresentaram 0 (zero) gramas de perda. O produto “X”, a uma concentração de 1,0% e usado como referência, não apresentou perda de minério durante os ensaios.

As Figuras 36 a 43 mostram os gráficos comparativos do percentual de perda de umidade e perda de massa (g) para as diferentes concentrações, ou seja, com 2,0%, 1,0%, 0,5% e 0,3%.

Nota-se nas Figuras 36 e 37, onde os resultados de produtos testados a uma concentração de 2% mostraram que, apesar do produto “D” e “C” terem sido os que menos perderam umidade, foram os que mais perderam massa de minério seco também, mostrando que os produtos aplicados não foram eficazes na retenção de minério, permitindo que houvesse o arraste eólico. Os produtos “H” e “I” perderam mais umidade, no entanto, tiveram 0 (zero) perda de minério, apresentando bom desempenho no controle da emissão atmosférica.



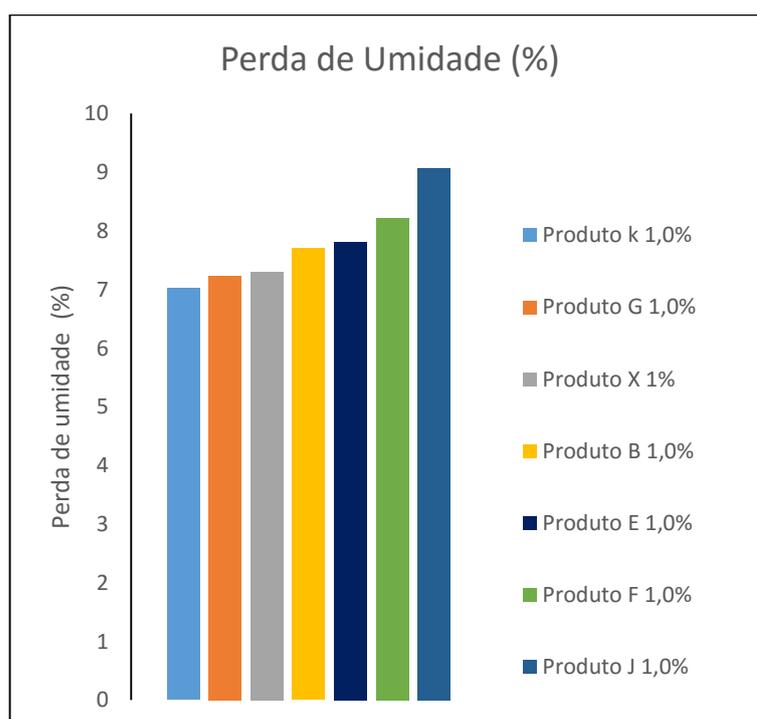
**Figura 36:** Perda de umidade a uma concentração de 2,0%

**Figura 37:** Perda de massa a uma concentração de 2,0%

Na Figura 38, com produtos testados a uma concentração de 1%, nota-se que o produto “F” foi o quinto melhor em retenção de umidade, mas foi o que mais perdeu minério, mostrando também que o produto aplicado não foi eficiente na retenção de minério, permitindo que houvesse o arraste eólico.

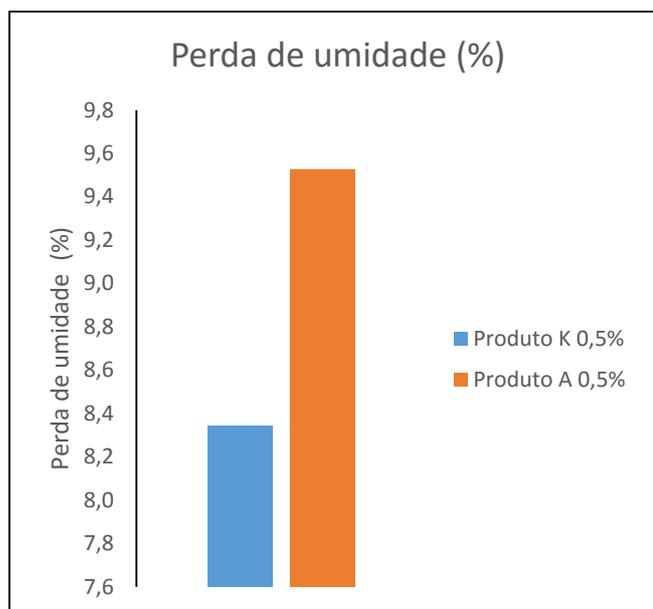
No entanto, os demais produtos tiveram perda 0 (zero) de minério, mostrando um bom desempenho no controle da emissão atmosférica.

O produto “K” foi o que menos perdeu umidade (7,02%) e não apresentou perda de minério, com esse resultado ele se destacou dentre os produtos testados a uma concentração de 1,0%.

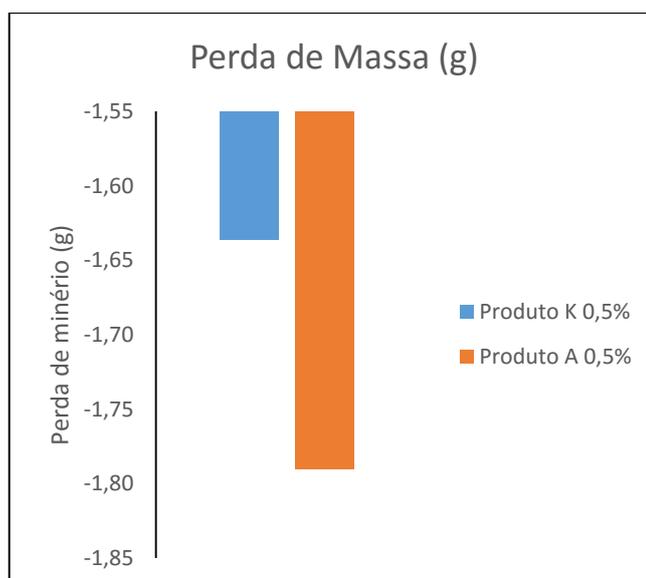


**Figura 38:** Perda de umidade a uma concentração de 1,0%

Nas Figuras 39 e 40, cujos produtos foram testados a uma concentração de 0,5 %, o produto “K” foi mais eficiente que o produto “A”, reteve mais umidade e perdeu menos minério. Nessa concentração houve perda de minério.

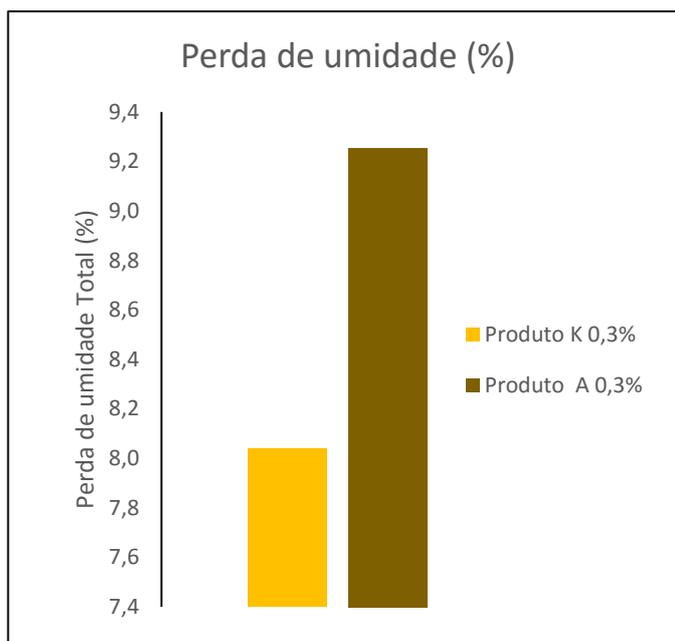


**Figura 39:** Perda de umidade a uma concentração de 0,5%



**Figura 40:** Perda de massa a uma concentração de 0,5%

Na Figura 42, mostra-se os resultados dos produtos “K” e “A”, a uma concentração de 0,3%, onde “K” apresentou menor perda de umidade que “A”. Não houve perda de minério e os produtos se mostraram eficientes no controle de emissão atmosférica.



**Figura 41:** Perda de umidade a uma concentração de 0,3%

#### 4.3 ANÁLISE ECONÔMICA

A Tabela 20 nos mostra o custo anual, a redução percentual e o ganho anual, no uso de cada produto, comparado ao Produto “X”, tomado como referência.

Para preservar o sigilo comercial dos valores monetários dos produtos, usou-se uma moeda fictícia de referência, denominada VR (Valor de Referência).

**Tabela 20:** Avaliação de custos dos polímeros usados em testes

<b>PRODUTO</b>	<b>Concentração (%)</b>	<b>Custo anual (VR)</b>	<b>Redução custo (%)</b>	<b>Ganho anual (VR)</b>
<i>PRODUTO "X"</i>	1,0	348.026,56	-	-
PRODUTO "K"	0,3	31.197,60	-91	316.828,96
PRODUTO "K"	0,5	51.996,00	-69	296.030,56
PRODUTO "A"	0,3	99.312,36	-71	248.714,20
PRODUTO "K"	1,0	103.992,00	-37	244.034,56
PRODUTO "E"	1,0	144.548,88	-58	203.477,68
PRODUTO "A"	0,5	165.520,60	-52	182.505,96
PRODUTO "F"	1,0	259.286,72	-25	88.739,84
PRODUTO "H"	2,0	289.097,76	-17	58.928,80
PRODUTO "B"	1,0	296.030,56	-15	51.996,00
PRODUTO "D"	2,0	301.576,80	-13	46.449,76
PRODUTO "J"	1,0	341.093,76	-2	6.932,80
PRODUTO "C"	2,0	343.173,60	-1	4.852,96
PRODUTO "I"	2,0	343.866,88	-1	4.159,68
PRODUTO "G"	1,0	439.192,88	26	-91.166,32

## 5 DISCUSSÃO

Dentre os polímeros avaliados, o Produto “K”, na concentração de 0,3%, foi o que apresentou melhor desempenho custo-benefício, diante dos resultados dos testes, apesar de outros produtos testados terem obtido bom desempenho técnico também. O Produto “K”, é um polímero à base de PET, produzido pelo processo de reciclagem química, obtido por meio de pesquisa realizada na UFES em parceria com a VALE (PATENTE: BR 10 2014 029870 3 A2 e PATENTE: BR10 2015 027113-1). Os resultados dos testes deste produto a uma concentração de 0,3%, foram muito satisfatórios pois apresentaram baixa perda de umidade e 0 (zero) g de perda de minério e, aliado ao baixo custo final.

Avaliando dados estatísticos, no cálculo do intervalo de confiança para a média de uma distribuição normal com variância desconhecida, considerou-se como exemplo os dados de “Perda total de umidade (%)”, conforme Tabela 21 a seguir.

**Tabela 21:** Média da perda de umidade total (%)

<b>Perda de umidade total (%)</b>	<b>Média</b>
1. Produto “X”	7,31
2. Produto “A” - 0,5	9,52
2. Produto “A” - 0,3	9,24
3. Produto “B”	7,71
4. Produto “C”	7,01
5. Produto “D”	5,89
6. Produto “E”	7,81
7. Produto “F”	8,22
8. Produto “G”	7,23
9. Produto “H”	8,93
10. Produto “I”	9,79

11. Produto "J"	9,07
12. Produto "K" - 1,0	7,02
12. Produto "K" - 0,5	8,35
12. Produto "K" - 0,3	8,04
<b>Média global</b>	<b>8,08</b>
<b>Desvio padrão global</b>	<b>1,09</b>

Com as seguintes bases de cálculo, chegou-se ao intervalo, conforme Figura 42.

$$X \sim N(\mu, \sigma^2),$$

$$T = \frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)}{S} \sim t_{n-1}$$

$$\mu \in \left( \bar{X} \pm \frac{bS}{\sqrt{n}} \right)$$

$$P(-b < T < b) = P\left[-b < \frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)}{S} < b\right] = P\left[\bar{X} - \frac{bS}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + \frac{bS}{\sqrt{n}}\right] = \gamma\%$$

$$\mu \in \left( \bar{X} \pm \frac{bS}{\sqrt{n}} \right)$$

$$0 \leq \gamma \leq 1.$$

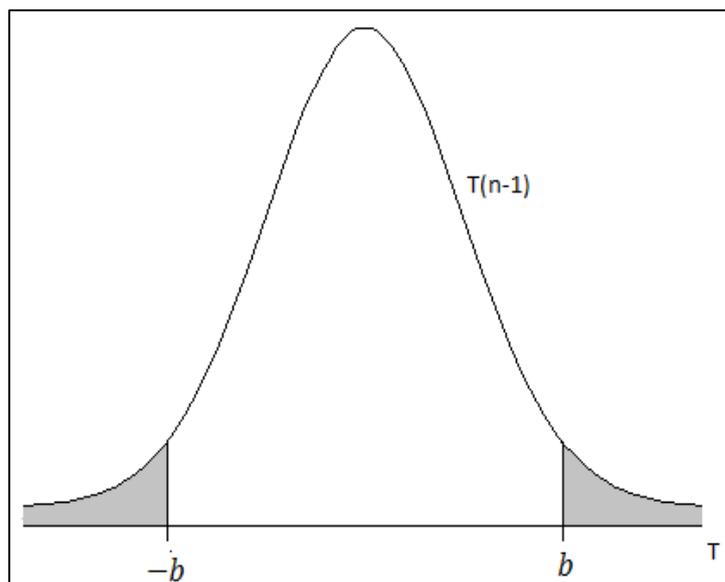
Para alfa = 5%

Intervalo de confiança de 95% (com  $\gamma\%$  de confiança)

Intervalo superior = 8,680769952

Intervalo inferior = 5,626582829

B = 2,144787



**Figura 42:** Intervalo de confiança

As médias dos produtos “A”, “H”, “I” e “J” mostraram-se fora, enquanto que os demais se mostraram dentro do intervalo de confiança. Isso significa que todas as médias (exceto as "fora"), são estatisticamente iguais para um intervalo de confiança de 95%.

Outra abordagem pertinente a este trabalho é a reciclagem de PET e sua transformação em aglomerante para uso como polímero supressor de pó, tem um grande potencial no mercado. A produção deste polímero, por se tratar de um projeto sustentável, tem aplicabilidade em todos os projetos da VALE que possuam pátios de pilhas de minério e/ou transportem seu minério por ferrovia. Em especial, aplica-se àqueles projetos instalados nas áreas remotas, longe dos centros industriais, onde custos logísticos representam um entrave para a retirada dos resíduos.

A VALE desenvolveu estudo promovendo a reciclagem de materiais poliméricos oriundos dos resíduos gerados em suas atividades, com o objetivo de disponibilizar um modelo piloto para a realização desta reciclagem. O resultado final seria o desenvolvimento de um produto comercial e socialmente viável e com a função de resina supressora de pó.

Este estudo tem sua importância, pois sabe-se que a grande quantidade de PET produzida a cada ano acarreta dois problemas potenciais: a matéria-prima para sua reprodução e o descarte dos produtos feitos com PET, especialmente as garrafas e outros utensílios plásticos.

O interesse em desenvolver o supressor de pó surgiu da necessidade de pesquisa direcionada à reciclagem química do PET, visando desta forma contribuir para o desenvolvimento sustentável. As embalagens de PET e demais embalagens plásticas, hoje estão indo para aterros ou lixões, causando um grande impacto ambiental. O objetivo é transformar, via reciclagem química, os materiais poliméricos de modo sustentável, buscando contribuir para o desenvolvimento de novas metodologias que possam reutilizar este tipo de material, principalmente para ter a função de resina supressora de pó de minério. Desta forma, um projeto como este inclui muitos benefícios técnicos e econômicos, destacando-se o de trazer alternativas de destinação sustentável para os resíduos da VALE.

Assim, o retorno esperado pode ser avaliado de várias maneiras, abrangendo os pontos de vista ambiental, social, econômico, tecnológico e científico.

É importante dizermos também que os sistemas de gestão ambiental e qualidade (ISO14001 / ISA9001), as legislações e as regulamentações têm influenciado positivamente o desenvolvimento de novos produtos.

## 6 CONCLUSÃO

Considerando que a hipótese definida no trabalho é a de que existem supressores de pó no mercado que apresentam eficiência superior aos utilizados pela VALE, além de melhor relação custo-benefício, concluímos que o Produto “K”, na concentração de 0,3%, desenvolvido à base de PET, demonstrou um desempenho técnico satisfatório comparado aos demais produtos testados, e sobressaiu-se de forma bastante relevante na questão financeira. Apesar da estrutura do conjunto experimental ser simples e ainda estar em evolução, os testes realizados e os dados coletados, bem como suas análises, foram suficientes para se concluir que este produto tem um melhor custo-benefício para a VALE, na EFVM. Ressaltamos que o valor estimado para este produto, na Tabela 20, é baseado em escala laboratorial. O valor real do custo será quantificado ao se instalar uma planta de produção em escala industrial, que é a próxima etapa do projeto, alinhado ao desafio de realização de testes em escala real, na própria EFVM. Ainda assim, espera-se manter o melhor custo-benefício.

Os ensaios realizados com os aglomerantes apresentaram resultados promissores, viabilizando a continuidade do projeto em escala industrial.

O acompanhamento das emissões de material particulado pela fonte móvel estudada visa permitir uma gestão mais eficaz dos sistemas de controle ambiental no transporte de minério de ferro na EFVM.

A VALE, comprometida com os três pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômico), busca reduzir os impactos de suas operações ferroviárias nos 42 municípios por onde passa a EFVM, através da aplicação de supressores de pó nos carregamentos de minério. Ressalta-se também a existência de outros contribuidores que interferem na qualidade do ar, alheios aos negócios da Vale, tais como: indústrias, construção civil, vias públicas, entre outros.

A técnica usada nos testes com o Túnel de Vento se mostra confiável, retrata a escala real e com resposta rápida, mesmo com um conjunto experimental simples e de baixo custo. Entende-se que o experimento tem potencial de aprimoramentos, fazendo-se

alguns ajustes e implementando outros controles a fim de melhorar a confiabilidade na obtenção dos dados.

Faz-se necessário aumentar a quantidade de testes por produto, proporcionando assim uma melhor avaliação dos dados coletados. Além disso, deve-se levar em consideração as variáveis, bem como os possíveis erros e incertezas existentes nas medidas, visando contribuir no desenvolvimento de habilidades para o Desenho de Experimentos (DoE), na análise de dados experimentais obtidos e nas demais informações estatísticas.

O Desenho de Experimento (DoE - Design of Experiments) foi desenvolvido no início dos anos 20 por Sir Ronald Fisher na estação de pesquisa agrícola do campo de Rothamsted em Londres, Inglaterra (ANTONY, 2003).

Em um projeto experimental frequentemente são feitas várias mudanças de entrada de dados para, em seguida, se determinar a variação do desempenho. É importante notar que nem todas as variáveis afetam o desempenho da mesma maneira. Algumas podem ter fortes influências no desempenho da produção, algumas podem ter influências médias e outros não têm nenhuma influência. Por conseguinte, o objetivo de um projeto é entender qual o conjunto de variáveis em um processo que afeta mais o desempenho e, em seguida, determina os melhores níveis para obter desempenho funcional satisfatório nos produtos.

Para a continuidade e realização de trabalhos futuros, toda a metodologia precisa ser homogeneizada, pois novos produtos podem surgir no mercado e serão submetidos aos testes. Faz-se necessário uma avaliação minuciosa de todas as variáveis que podem influenciar este processo, desde a influência dos equipamentos usados, a variação granulométrica do minério e até mesmo o procedimento manual na aplicação do polímero, entre outros, considerando a expressão de incerteza dos dados obtidos. SOUZA e BRASIL avaliam as incertezas de uma forma simples e barata de experimentar. No artigo *Assessing uncertainties in a simple and cheap experiment* (2009), os autores descrevem a forma de calcular as incertezas de medição utilizando como exemplo prático a avaliação da espessura de bolas de pingue-pongue e a densidade do material. Por conseguinte, o trabalho também discutiu modos de

expressar o resultado de uma série de medições em termos do esperado valor e incerteza, propagação de erros resultantes de várias medições repetitivas e de operações matemáticas em discussão. Alguns conceitos adicionais em estatística, tais como o coeficiente de variação, amplamente utilizado em análise de mercado financeiro, podem também ser usados para avaliar a qualidade da medição, como a variação real de uma grandeza física. Os conceitos fundamentais da teoria do erro na física experimental foram apresentados e exercidos em um experimento simples. O coeficiente de variação foi aplicado para avaliar a variabilidade de medições reais.

Diante do exposto, entende-se que o experimento realizado no Túnel de Vento, de forma simples e pouco dispendiosa, trouxe grande benefício na etapa de ensaios laboratoriais, selecionando produtos com bom desempenho e aptos a serem testados em escala real. Vale resaltar que os resultados deste estudo vão proporcionar à VALE ganhos no que diz respeito à sustentabilidade, em seus aspectos ambientais, sociais e econômicos.

## 7 REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas. Brasília. 2012. 45 p. **Despoluir: programa ambiental de transporte**. Disponível em: <<http://www.cntdespoluir.org.br/Paginas/Inicio.aspx>>. Acesso em: 01 de março de 2016.
- ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- AMORIM, W. B. **Monitoramento da Concentração e Caracterização de Material Particulado Suspenso na Atmosfera**. 2004. 165 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- ANTONY, J. **Design of Experiments for Engineers and Scientists**. Amsterdã: Elsevier, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780750647090>>. Acesso em: 4 de outubro de 2016.
- ARAUJO, M. H.; MEDEIROS, M. A; LAGO, R. M. Patente de supressor de pó a base de glicerol. **FAPEMIG**, 2010. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/%20307205/metodo-de-producao-de-supressor-de-poeira-obtido-a-partir-da-modificacao>>. Acesso em: 01 de novembro de 2016.
- ARBEX, M. B.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L.C.; SALDIVA, P. H. N; PEREIRA, L. A. A; BRAGA, A. L. F. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. Jornal Brasileiro de Pneumologia, vol.38, n.5, pp.643-655, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-37132012000500015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132012000500015&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 01 de agosto de 2016.
- ASSUNÇÃO, J. V. **Poluição Atmosférica. Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias**. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BELL, J. H; MEHTA, R. D. Contraction Design for Small Low-Speed Wind Tunnels. **Science**, v. 283, p. 1689-1695, março de 1999. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/>> Acesso em: 21 de outubro de 2016.

BRASIL. Lei n. 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 167, 02. set. 1981, Seção 1, p. 16.509-16.520.1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em: 10 de março de 2016.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Nós, representantes do povo brasileiro, reunidos em Assembleia Nacional Constituinte para instituir um Estado Democrático, destinado a assegurar o exercício dos direitos sociais e individuais...**Diário Oficial da União**, Brasília, 5 de outubro de 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 10 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 fev. 1986. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html)>. Acesso em: 1 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 018, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jun. 1986, Seção 1. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=41>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 005, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 ago. 1989, Seção I. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 003, de 28 de junho de 1990. Complementa a Resolução no 5/89. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 ago. 1990, Seção 1. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 2 de abril de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 008, de 6 de dezembro de 1990. Correlações: Complementa a Resolução no 5/89. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 dez. 1990, Seção 1. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=105>>. Acesso em 2 de abril de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 297, de 26 de fevereiro de 2002. Correlações: Complementada pela Resolução no 342/03, estabelecendo limites para emissões de gases poluentes pelo escapamento para motocicletas e veículos similares novos. Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.51, 15 mar. 2002, Seção 1. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=294>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA no 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 jan. 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 005, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção I. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 003, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 7 de abril de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Acesso em: 1 de março de 2016.

CASTANHO, A. A. **Determinação Qualitativa de Fontes de Material Particulado na Atmosfera da Cidade de São Paulo**. 1999. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CAVALCANTI, M. L. F.; D'EL REY, D. C. H.; LENCASTRE, E. F.; PILON, A. F.; SANTOS, S. O.; SOSSAI, J. A. **Saúde na Escola – 1º Grau**. São Paulo: Ibrasa, 1979.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Qualidade do ar/ Padrões e índices**. São Paulo, 2016. Disponível em:

<<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/ar/anexo/efeitos.pdf>>. Acesso em: 20 de março de 2016.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Qualidade do ar e efeitos à saúde**. São Paulo, 2011. Disponível em:

<<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/ar/anexo/efeitos.pdf>>. Acesso em: 13 de agosto de 2016.

CHIABAI JUNIOR, J. **Avaliação do Desempenho de um Ciclone Stairmand Adaptado com Bicos Injetores de Água**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2014.

CNT – Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa CNT de Ferrovias**. Brasília. 2015. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Pesquisa/pesquisa-cnt-ferrovias>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Signus, 2007.

HINRICHS, R. A. KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo: Thomson, 2003.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Qualidade do Ar**, Cariacica, ES, 2017. Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 31 de junho de 2017.

LEAL, G.C.; FARIAS, M. S. & ARAUJO, A.F. **O Processo de Industrialização e seus Impactos no Meio Ambiente Urbano**. QUALIT@S Revista Eletrônica. ISSN. Vol.7, p.1677-4280, 2008.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1994.

MEILI, L. **Estudo do Desempenho de Lavadores de Gases do Tipo Venturi com Seção Circular**. 2006, 85 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

MELO, G.B. **Efluentes Atmosféricos e Qualidade do Ar**. Belo Horizonte: UFMG, 1997.

MILLER, G. T. **Living the Environment**. Boston: Brooks Cole, 2008.

MMA. **Fontes fixas e móveis de poluição atmosférica**. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas>>. Acesso em: 24 de agosto de 2016.

NOBREGA, L. A. **Modelagem da influência de poluentes atmosféricos veiculares e fatores meteorológicos em afecções respiratórias**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba (UFP), João Pessoa, 2013.

OLIVEIRA, C. R. M.; OLIVA, M. A.; PEREIRA, E. G. Efeito do Material Particulado de Ferro no Teor de Pigmentos de *Schinus terebinthifolius Raddi*. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 681-683, 2007.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease**. Suíça: WHO - World Health Organization, 2016.

PERRY, R.; CHILTON, C. H. **Manual de Engenharia Química**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

PILAT, M.; NOLL, K. E. Wet Scrubbers. In: DAVIS, W. T. **Air Pollution Engineering Manual**. New York: John Wiley & Sons, 2000, p. 73-85.

QUITÉRIO, S.; SILVA, C. R. S.; ARBILLA, G.; ESCALEIRA, Viviane. Metals in airborne particulate matter in the industrial district of Santa Cruz, Rio de Janeiro. **Atmospheric Environment**, n. 38, p. 321- 331, 2004.

RESENDE, F. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: Avaliação e Controle nos canteiros de obras de edifícios**. 2007. 232 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2007.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e a Logística Internacional**. São Paulo: Aduaneiras, 2004.

SALVI, S. S.; BARNES P. J. Chronic obstructive pulmonary disease in non-smokers. **Lancet**. n. 374, p.733-743, 2009. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19716966>>. Acesso em 20 de outubro de 2016.

SANTIAGO, A. **Material particulado total suspenso na baixa atmosfera em Cuiabá-MT no período de queimadas**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, 2013.

SANTINI, J. **Filtro de mangas para o controle de emissões atmosféricas de material particulado gerados no beneficiamento de mármore e granitos**. 73 f. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2011.

SILVEIRA, D.T.; CÓRDOVA, F.P. In: GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. (Org.). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

SOUZA, P. A. **Innovation in Industrial Research**. Collingwood: CSIRO Publishing, 2010.

SOUZA, P.A.; BRASIL, G. H. Assessing uncertainties in a simple and cheap experiment. **European Journal of Physics**, v. 30, n. 3, p. 615–622, 2009. Disponível em: <<http://sci-hub.cc/http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/30/3/018/meta>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

U. S. Environmental Protection Agency. Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Method). **Federal Register**, Title 40, Chapter I, Part 50, Appendix B. v. 47, p. 54912. 1983. Disponível em: <[https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-B\\_to\\_part\\_50](https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-B_to_part_50)>. Acesso em: 10 de agosto de 2016.

VALE. **Programa de gestão de emissões atmosféricas da EFVM**. Vitória: VALE, 2011.

VALE. **EFVM**. 2014. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/business/logistics/railways/Passenger-Train-Vitoria-Minas/Paginas/default.aspx/>>. Acesso em: 01 de agosto de 2016.

VALE. **Programa de Gerenciamento de Riscos da EFVM**. Vitória: VALE, 2014.

VALE. S.A. **Relatório do Programa de Gestão de Emissões Atmosféricas da EFVM**. Vitória: VALE, 2015.

VALE S/A (BR/RJ), UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES/BR/ES). Renata Eliane Frank Vasconcelos, Eloi Alves da Silva Filho, Carlos Vital Paixão de Melo. PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE RESINA SUPRESSORA DE PÓ DE MINÉRIO, RESINA SUPRESSORA DE PÓ DE MINÉRIOS, PROCESSO PARA INIBIÇÃO DA EMISSÃO DE PARTICULADOS DE MINÉRIOS E USO DA RESINA. BR n. 10 2014 029870 3 A2, 2 de junho de 2016.

VALE S/A (BR/RJ), UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES/BR/ES). Renata Eliane Frank Vasconcelos, Eloi Alves da Silva Filho, Carlos Vital Paixão de Melo. PROCESSO DE DESPOLIMERIZAÇÃO DE POLIPROPILENO E DE POLIETILENO POR MEIO DE RECICLAGEM QUÍMICA. BR n. 10 2015 027113-1, 26 de outubro de 2015.

XAVIER FILHO, M. **A importância do modal ferroviário no transporte de carga no Brasil utilizando a intermodalidade**. 2006. 79 f. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2006.