



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

MARCOS ANTONIO PINHEIRO PONÇADILHA

**SISTEMAS DE DESPOEIRAMENTO PARA CONTROLE DE
EMIÇÃO DE PARTICULADO EM UMA USINA DE PELOTIZAÇÃO**

SÃO LUÍS

2019

MARCOS ANTONIO PINHEIRO PONÇADILHA

**SISTEMAS DE DESPOEIRAMENTO PARA CONTROLE DE
EMIÇÃO DE PARTICULADO EM UMA USINA DE PELOTIZAÇÃO**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO(A)

ALUNO(A).....
....., E ORIENTADA PELO(A)
PROF(A). DR(A).....

.....
ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

SÃO LUÍS

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SISTEMAS DE DESPOEIRAMENTO PARA CONTROLE DE
EMISSÃO DE PARTICULADO EM UMA USINA DE PELOTIZAÇÃO**

Autor: Marcos Antônio Pinheiro Ponçadilha.

Orientador: Fernando Lima de Oliveira.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira.
Instituição: UEMA - Universidade Estadual do Maranhão.

Prof.^ª Mc. Maria Amália Trindade de Castro.
**Instituição: UEMA – Universidade
Estadual do Maranhão.**

Prof. Esp. Paulo Henrique Gomes Ribeiro.
Instituição: Faculdade Pitágoras do Maranhão.

A Ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 28 de junho de 2019.

FICHA CATALOGÁRICA

Ponçadilha, Marcos Antônio Pinheiro.

Sistemas de despoejamento para controle de emissão de particulado em uma usina de pelletização. / Marcos Antônio Pinheiro Ponçadilha. – São Luís, 2019.

... 162 folhas

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira.

1.Pelletização. 2.Controle ambiental. 3.Despoejamento.
4.Lavador de gás. 5.Glicerina. I.Título

CDU: 669.18

DEDICATÓRIA

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta jornada, aos meus pais *Antonio* e *Nelma* e tia *Cristina* que sempre me incentivaram, me forneceram estrutura e todo apoio necessário, aos meus irmãos *Thales* e *Sandro* pelo carinho e compreensão e por fim, a minha namorada *Kelem Raissa* pelo seu carinho, paciência, companheirismo e incentivo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades e por estar concluindo mais uma etapa da minha vida, em segundo momento a empresa de mineração em que trabalho que me forneceram a base de pesquisa para elaboração deste trabalho e pela oportunidade de conhecer mais sobre a vida de manutenção e engenharia da usina, bem como os desafios diários da profissão. Um obrigado especial a equipe de “Projetos de Implantação” a qual me encontro alocado no período de estágio, pelos aprendizados, experiência e a confiança nas atividades a mim delegadas que me ajudaram a crescer pessoalmente e profissionalmente. Agradeço a UEMA - Universidade Estadual do Maranhão e seu corpo docente pelos ensinamentos teóricos e práticos que me proporcionaram rumo ao sonho de se tornar Engenheiro Mecânico.

RESUMO

O projeto de conclusão de curso em questão, visa fazer um estudo do sistema de despoeiramento utilizado em uma usina de Pelotização. Os estudos que deram início as atividades da usina de pelotização, foi elaborado pela equipe de “Projetos Capital”, no qual estou alocado, visando garantir que o ativo volte as suas devidas funções iniciais. Entre os investimentos realizados para a retomada da usina, e como parte das etapas de controle ambiental, destaca-se a instalação de medidores de gases nas chaminés, que permitirão o monitoramento e controle das emissões de gases gerados durante o processo, com o objetivo de atuar de forma rápida e preventiva. Depois de prontas, as pelotas recebem supressores de pó, uma camada de proteção formada por um composto de glicerina e água para dificultar o desprendimento de pó causado pela força do vento ou durante a movimentação das pelotas. A atividade de extração de minério gera vários impactos, tanto de origem ambiental como social. *“Assim como em vários outros setores, tais impactos podem ser diretos ou indiretos, permanentes ou temporários, benéficos ou danosos, mitigáveis ou não, reversíveis ou irreversíveis”* (CAVALCANTI, Pedro, 2012). Estes impactos acabam por alterar condições de solo, atmosféricas e os recursos hídricos e acontece na maioria das vezes em países industrializados. É neste novo cenário de preocupação ambiental que se mostra fundamental a pesquisa que está sendo desenvolvida, onde a usina desde 2002 usava o sistema de “Lavador de gás” para conter essa vasta gama de materiais particulados em suspensão. Como início das atividades da planta, houve a necessidade de modernização do sistema de despoeiramento, logo neste novo cenário foi implantado o sistema de “Glicerina” que consegue suprir as atividades desenvolvidas pelos lavadores de forma mais eficiente.

Palavras-chave: Pelotização; Controle Ambiental; despoeiramento; Lavador de gás; Glicerina.

ABSTRACT

The project of conclusion of the course in question, aims to make a study of the system of dedusting used in a Pelletizing plant. The studies that started the activities of the pelletizing plant were prepared by the "Capital Projects" team, in which I am allocated, in order to ensure that the asset returns its due initial functions. Among the investments made for the resumption of the plant, and as part of the environmental control stages, the installation of gas meters in the chimneys, which will allow the monitoring and control of the gas emissions generated during the process, will be highlighted. to act quickly and preventively. Once ready, the pellets are supplied with dust suppressants, a protective layer formed of a glycerin compound and water to make it difficult to release dust caused by the wind or during the movement of the pellets. The mining activity generates several impacts, both of environmental and social origin. "As in many other sectors, such impacts may be direct or indirect, permanent or temporary, beneficial or harmful, mitigable or otherwise, reversible or irreversible" (CAVALCANTI, Pedro, 2012). These impacts end up altering soil, atmospheric and water conditions and occur most of the time in industrialized countries. It is in this new scenario of environmental concern that the research that is being developed is fundamental, where the plant since 2002 used the system of "Gas washer" to contain this wide range of suspended particulate materials. As a start of the plant's activities, there was a need to modernize the dedusting system, so in this new scenario the "Glycerin" system was implemented, which manages the washer's activities more efficiently.

Keywords: Pelletizing; Environmental control; dedusting; Gas washer; Glycerin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dispersão de uma pluma	02
Figura 2 - Evolução da capacidade mundial de produção de pelotas	08
Figura 3 – Usina de pelotização e a formação de pelotas	10
Figura 4 - Principais fontes primárias de material particulado	16
Figura 5 – Pelotas, matéria prima para fabricação do aço	21
Figura 6 - Planta da moagem e filtragem	22
Figura 7 – Diferença Granulométrica dos finos	23
Figura 8 - Fluxograma do processo de Pelotização	24
Figura 9 – FM 813K-01	25
Figura 10 - Casa de transferência	26
Figura 11 – Macro fluxo do processo de Pelotização	27
Figura 11 (a) – Moinho de Vertical, vista lateral	28
Figura 11 (b) – Moinho de Bolas, vista lateral	28
Figura 12 – Filtro de Manga da Moagem FM 831K-01	29
Figura 13 – Transportador de início do processo	30
Figura 14 - Princípio de Moagem	31
Figura 15 – Prédio da Mistura	32
Figura 16 - Discos de Pelotamento	34
Figura 17 – Balança dosadora	35
Figura 18 - Pelotas na descarga do disco	35
Figura 19 – Peneira de rolos na descarga do disco	36
Figura 20 - Secagem Ascendente e Descendente	38
Figura 21 – Transporte de pelotas pelo forno com carro grelha	40

Figura 22 - Fluxograma simplificado do processo de queima	41
Figura 23 – Precipitador Eletrostático e Chaminé de Processo	42
Figura 24 – Lavador de Gás 01	44
Figura 25 – Tubulação de captação de material particulado na entrada do forno	44
Figura 26 – Início da queima e formação de particulado	45
Figura 27 – Ponto de captação de particulado na entrada do forno	45
Figura 28 (a) – Preparação do carro de grelha para receber a camada de forramento ...	46
Figura 28 (b) – Giro do carro grelha no forno	46
Figura 29 – Lavador de Gás 02	46
Figura 30 (a) – Tubulação de captação da saída do forno	47
Figura 30 (b) – Derivação de captação para o lavador de gás	47
Figura 31 - Posição estratégica do Lavador de Gás	47
Figura 32 – Material particulado gerado sem o uso do Lavador	48
Figura 33 – Transporte de pelota na saída do forno em direção ao peneiramento	49
Figura 34 – Pátio de emergência de Pelotas	50
Figura 35 - Geração de material particulado na descarga do chute	51
Figura 36 – Lavador de Gás 4	51
Figura 37 (a) – Material particulado no fundo da peneira	52
Figura 37 (b) – Material particulado na lateral da peneira	52
Figura 38 – Material particulado gerado na saída do peneiramento	52
Figura 39 - Ventilador com jatos d'água usados no processo	53
Figura 40 – Pátio A, estocagem de pelotas	54
Figura 41 - Lavador tipo Venturi	58
Figura 42 – Demonstrativo do Precipitador Eletrostático	59
Figura 43 - Etapas de remoção de particulados do Precipitador	60

Figura 44 – Etapas nas placas ionizantes	60
Figura 45 - Esquema de funcionamento de Filtros eletrostáticos	61
Figura 46 – Geometria da placa de coleta e eletrodo de carregamento	61
Figura 47 - Mapeamento dos 3 Precipitadores no processo	62
Figura 48 – Gaiolas do filtro de manga	63
Figura 49 – Mangas, elemento filtrante	64
Figura 50 (a) – Filtro de manga na área da Moagem de insumos	64
Figura 50 (b) – Filtro de manga usado no despoeiramento em transferência de transportadores.....	64
Figura 51 – Lavador de Pneus	65
Figura 52 - Sistema de Aspersão das Correias Transportadoras	66
Figura 53 – Pátio de emergência antes da instalação da barreira de vento	67
Figura 54 - Pátio de emergência com a instalação da barreira de vento.....	68
Figura 55 – Umectação da via	69
Figura 56 - Disponibilidade dos Lavadores de gás do forno e peneiramento e Precipitadores	70
Figura 57 – Produção/Projeção de biodiesel e glicerol	75
Figura 58 - Matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel - Janeiro de 2016 (%)	76
Figura 59 – Fluxograma do processo produtivo do biodiesel	77
Figura 60 - Amostra de biodiesel em amarelo claro e glicerol mais denso na parte inferior	80
Figura 61 – Visão macro do sistema de despoeiramento	83
Figura 62 – Primeiro ponto de captação de material particulado do lavador de gases	84
Figura 63 (a) - Descida do material succionado no primeiro ponto	85
Figura 63 (b) - Vista lateral do primeiro ponto de captação	85

Figura 64 - Segundo ponto de captação, na transferência de pelota entre transportadores	85
Figura 65 – Percurso do material particulado no segundo ponto de captação	86
Figura 66 - Terceiro ponto de captação de material particulado	86
Figura 67 – Caminho do material particulado para o terceiro ponto de captação	87
Figura 68 (a) - Encontro de material particulado, vista lateral	87
Figura 68 (b) - Encontro de material particulado, vista inferior	87
Figura 69 – Vista macro dos pontos de captação de material particulado do Lavador	88
Figura 70 (a) - Descida do material particulado para início da lavagem	88
Figura 70 (b) - Vista do início da lavagem	88
Figura 71 - Chegada do material particulado no lavador venturi	89
Figura 72 – Bicos Sprays para sistema de aspersão do venturi	89
Figura 73 - Fenômenos de separação gás e lama	90
Figura 74 – Dispositivo de regulagem para passagem dos gases no venturi	91
Figura 75 (a) - Descarga da lama gerada no processo	91
Figura 75 (b) - Tanque de lama	91
Figura 76 – Sucção do gás limpo pelo ventilador centrífugo	92
Figura 77 (a) - Bombas de água do lavador venturi	92
Figura 77 (b) - Bombas de sucção de lama para o espessador e tubulação	92
Figura 78 – Demonstrativo geral do processo e o lançamento de gás limpo para atmosfera pela chaminé	93
Figura 79 (a) - Imagem do espessador	93
Figura 79 (b) - Vista superior do Espessador	93
Figura 80 – Malha de controle em cascata de vazão de água	97
Figura 81 - Malha de controle de vazão de glicerina	98
Figura 82 – Malha de controle de vazão de água de adição de glicerina	99

Figura 83 - Visão macro da área de estudo	101
Figura 84 – Demonstrativo dos processos	102
Figura 85 – Sala de instrumentação do sistema de glicerina	104
Figura 86 – Sistema de aspersão de pó – Glicerina	104
Figura 87 - Sala do sistema de aspersão de pó - Glicerina, internamente	105
Figura 88 – Filtros do sistema de Glicerina	106
Figura 89 - Caminho da glicerina-tanque e tanque-processo	107
Figura 90 – Representação de entrada e saída de glicerina do tanque	107
Figura 91 – Representação da entrada de glicerina e ar comprimido no processo	108
Figura 92 – Pirômetro monitorando temperatura de pelotas	109
Figura 93 - Localização de aplicação de glicerina e pré resfriamento	109
Figura 94 – Demonstrativo do sistema de pré resfriamento	110
Figura 95 - Instrumentação usada para aplicação de solução de glicerina	111
Figura 96 – Mistura de água e glicerina para solução	112
Figura 97 - Exemplo de Misturador	113
Figura 98 – Cortina percolada de aplicação da solução de Glicerina	114
Figura 99 - Descritivo de Supressão	114
Figura 100 – Aplicação do supressor na correia transportadora	115
Figura 101 - Dados do sistema de Glicerina - Dia (Água de diluição, glicerina e tonelada de pelotas)	118
Figura 102 – Dados do sistema de Glicerina - Mês (Água de diluição, glicerina e tonelada de pelotas)	119
Figura 103 – Utilização de CPVC na tubulação de Glicerina	128
Figura 104 - Medidor de vazão magnético (Utilizado antes)	130
Figura 105 – Medidor Coriolis no sistema de Glicerina	131
Figura 106 – Sistemas de correntes usado na cortina percolada de glicerina	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos poluentes atmosféricos	14
Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de referência	19
Tabela 3 – Característica do ventilador de exaustão	43
Tabela 4 - Informações da FISPQ da glicerina loira	100
Tabela 5 – Dados referentes ao local de coleta	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental.

BW – Balança dosadora.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CT – Casa de Transferência.

EF – Eficiência de Abatimento

EIA – Estudo de Impacto Ambiental.

EPA – Agência de Proteção Ambiental

FM – Filtro de Manga.

LG – Lavador de Gás

MAA – Média Aritmética Anual.

MGA – Média Geométrica Anual

PID - Controlador proporcional integral derivativo

PP – Precipitador Eletrostático.

SINFERBASE - Sindicato Nacional da Indústria da Extração de Ferro e Metais Básicos.

TE – Taxa de Emissão

LISTA DE SÍMBOLOS

μm – micrometro.

mg/Nm^3 - Miligramas normal metro cúbico.

SUMÁRIO

FOLHA DE ROSTO	<i>i</i>
DEDICATÓRIA	<i>iii</i>
AGRADECIMENTOS	<i>iv</i>
RESUMO	<i>vii</i>
ABSTRACT	<i>xix</i>
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	<i>xi</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xxi</i>
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	<i>xxiii</i>
LISTA DE SÍMBOLOS	<i>xxv</i>
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
2.3 Estrutura do trabalho	5
3 PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO	6
3.1 Desenvolvimento Histórico	6
3.2 Produção de pelotas de minério de ferro	7
3.3 A importância econômica do ferro no Brasil.....	8
3.4 A importância da Pelotização para Siderurgia.....	9
3.5 A Usina de Pelotização.....	10
4 CONTROLE AMBIENTAL NO SETOR INDUSTRIAL.....	12
4.1 Poluentes Atmosféricos	13
4.2 Efeitos da poluição atmosférica	15
4.3 Material Particulado	15
4.4 Legislação Ambiental.....	17
4.5 Padrões de Qualidade do Ar	18

5 FORMAÇÃO DE PELOTAS.....	20
5.1 O que é Pelotização?	20
5.2 Início do processo	22
5.3 Etapas do processo de formação de pelotas.....	24
5.4 1º Ponto de formação de material particulado	25
5.5 2º Ponto de formação de material particulado	26
5.6 Moagem.....	28
5.7 3º Ponto de formação de material particulado	29
5.8 Alimentação, preparação e prensagem.....	30
5.9 Mistura.....	32
5.10 4º Ponto de formação de material particulado	33
5.11 Pelotamento.....	34
5.12 5º Ponto de formação de material particulado	36
5.13 Queima.....	37
5.14 Secagem Ascendente	37
5.15 Secagem Descendente	38
5.16 Pré Queima.....	39
5.17 Queima.....	39
5.18 Pós Queima	40
5.19 Resfriamento Primário e Secundário	41
5.20 6º Ponto de formação de material particulado	42
5.21 Peneiramento.....	49
5.22 7º Ponto de formação de material particulado	50
5.23 Empilhamento de Pelotas	53
5.24 8º Ponto de formação de material particulado	54
6 EQUIPAMENTOS DE CONTROLE USADOS NA USINA DE PELOTIZAÇÃO	55
6.1 Descrição do processo de controle ambiental.....	55

6.2 Lavadores de Gás do Forno e Peneiramento	57
6.3 Precipitador Eletrostático.....	59
6.4 Filtros de Manga	62
6.5 Lavador de Pneus	65
6.6 Sistema de Aspersão das Correias Transportadoras.....	66
6.7 <i>Wind Fence</i> (Barreira de Vento)	67
6.8 RAMP (Rede Automática de Monitoramento das Emissões Difusas de Partículas)	68
6.9 Umectação de vias de reaproveitamento de água	69
7 SUPRESSÃO DE MATERIAL PARTICULADO (LAVADOR DE GÁS E PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO)	70
7.1 Resultados dos Lavadores de Gás do Forno/Peneiramento.....	71
7.2 Resultados dos Precipitadores Eletrostáticos.....	72
8 SISTEMA DE GLICERINA	74
8.1 A glicerina e o biodiesel	76
8.2 Glicerina na Mineração	79
9 SISTEMA DE GLICERINA X LAVADOR DE GÁS DO PÁTIO	81
9.1 Lavadores De Gás Do Pátio/Casa De Transferência.....	81
9.1.1 Princípio de Funcionamento	82
9.1.2 Detalhes do Processo	83
9.1.3 Etapas do processo do Lavador de Gás.	84
9.2 Sistema de Glicerina.....	94
9.2.1 Supressão de pó com Glicerina	95
9.2.2 Parâmetros e variáveis de controle do processo	97
9.2.3 Tipo de Glicerina Usada	100
9.2.4 Explicação do Sistema	101
9.2.5 Etapas da Implantação do sistema de Glicerina	104
10 RESULTADOS E DISCUSSÃO	116

10.1 Sistema de Glicerina.....	117
10.1.1 Vantagens e Desvantagens do Sistema de Glicerina	121
10.2 Lavador de Gás	122
10.2.1 Resultados obtidos para o Lavador de Gás do Pátio	123
10.2.2 Vantagens e Desvantagens do Lavador de Gás.....	126
10.3 Melhorias Implementadas no sistema de Glicerina.....	128
10.3.1 Tubulação de CPVC	128
10.3.2 Medidor de vazão Coriólis	130
10.3.3 Cortina percolada usando sistema de correntes.....	132
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
REFERÊNCIAS	135

1 INTRODUÇÃO

O projeto de conclusão de curso em questão, visa fazer um estudo do sistema de despoejamento utilizado em uma usina de Pelotização, em especial do sistema de lavador de gás localizado no final do processo de queima e peneiramento e o novo sistema de supressão de pó por cortina percolada com solução de glicerina localizado em posição estratégica no processo. Para composição da pesquisa, será feita análise documental referentes aos fabricantes dos produtos e seus devidos equipamentos, além de inspeções em campo para levantamento de dados práticos como (Fotos dos componentes, explicações dos fenômenos embargados nos objetos de pesquisa, vantagens e desvantagens dos processos, métodos de construção, desenhos usados para revitalização dos componentes ou novos desenhos de fabricação, especificações técnicas e outros).

“A pelotização é um processo de aglomeração do minério de ferro que produz pequenas esferas cristalizadas de 10-16 mm de diâmetro. As plantas de pelotização podem fazer parte de usinas integradas; no entanto, mais comumente elas estão são junto às minas ou portos de embarque” (COSTA, 2002). A empresa de mineração decidiu retomar a operação da usina em 2017, quando foram iniciados os estudos de viabilidade da planta. "O mercado apresenta-se numa condição favorável de demanda, abrindo oportunidade para o aumento de produção de pelotas. Por esta razão, a empresa de mineração decidiu retomar a operação devido a sua proximidade aos projetos de expansão da mineração na região *“De acordo com o site Imirante.com em entrevista ao diretor da pelotização, Cláudio Alves, 2012”*.

Entre os investimentos realizados para a retomada da usina, e como parte das etapas de controle ambiental, destaca-se a instalação de medidores de gases nas chaminés, que permitirão o monitoramento e controle das emissões de gases gerados durante o processo, com o objetivo de atuar de forma rápida e preventiva. Depois de prontas, as pelotas recebem supressores de pó, uma camada de proteção formada por um composto de glicerina e água para dificultar o desprendimento de pó causado pela força do vento ou durante a movimentação das pelotas, amenizando desta forma, problemas ocasionados pela poluição atmosférica. .

Segundo João Carlos Mucciaccito, 2012, em entrevista à revista MF, *“Para entender a poluição atmosférica deve-se destacar a fonte emissora e o corpo receptor que são*

respectivamente a emissão”. Quanto a emissão, esta pode ser compreendida como o lançamento de poluentes para a atmosfera. Um poluente atmosférico é definido como “*Uma introdução na atmosfera pelo homem, direta ou indiretamente, de substância ou energia que têm uma ação nociva de modo a pôr em perigo a saúde do homem; prejudicar os recursos biológicos e os ecossistemas; deteriorar os bens materiais e pôr em risco ou prejudicar os valores estéticos e as outras legítimas utilizações do ambiente*” (GUIMARÃES, Claudinei, 2016). Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em dois grupos diferentes, são eles: O material particulado e os gases e vapores. O primeiro refere-se a partículas sólidas ou líquidas emitidas por fontes de poluição do ar ou também aquelas que são formadas na atmosfera. Já os gases e vapores, são poluentes na forma molecular, como gases permanentes.

A dispersão de poluentes ocorre quando uma corrente contínua de poluentes que são liberadas em uma atmosfera aberta irá inicialmente crescer, em seguida irá se misturar e ser transportada com o vento, este por sua vez irá diluir os poluentes e carregar para longe da fonte inicial. Essa pluma de poluentes será espalhada nas direções horizontais e verticais a partir de uma linha central.

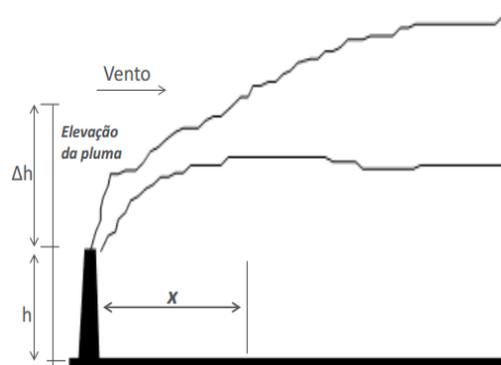


Figura 1. Dispersão de uma pluma.

Fonte: (GUIMARÃES, Claudinei, 2016)

Chegando ao terceiro milênio, verifica-se com certa preocupação as taxas de emissões de poluentes batendo altos níveis, e neste novo cenário de preocupações ambientais e sociais, a procura pela melhora nos processos e equipamentos mais tecnológicos de controle ambiental são de fundamental importância, uma vez que as industriais de extração ainda utilizam em sua grande maioria, processos que se baseiam na queima de combustíveis fósseis, dentre eles, destaca-se os materiais derivados do petróleo e o carvão mineral. Indústrias de extração de

minério sempre gera altos níveis de materiais particulados em seus processos, e as primeiras medidas adotadas para prevenir a contaminação atmosférica dão atenção a este tipo de material.

Os efeitos da poluição do ar que são provocados por poluentes, tendem a abranger uma escala de caráter global. Exemplos vistos em grande escala como o efeito estufa que destrói a camada de ozônio todos os dias preocupam a sociedade, e se notando a grande criticidade no qual o mundo se encontra, é de fundamental importância a obtenção de estudos que levantam esta problemática e mostram melhorias nos processos que minimizam esses efeitos tão nocivos.

A empresa busca novos sistemas cada vez mais tecnológicos para controle de materiais particulados que são enviados para o meio ambiente, uma vez que a mesma tem como principal produto de exportação, o minério de ferro e pelotas que são componentes que geram elevados níveis de partículas prejudiciais ao meio ambiente e a saúde de seus colaboradores que trabalham direta e indiretamente com o material em questão. Buscar, analisar, descrever e procurar novas formas de controle ambiental como os que serão listados e debatidos neste trabalho, acaba por suprir uma necessidade da empresa no que diz respeito a responsabilidade da mesma com o meio ambiente gerando menos particulados em seus processos operacionais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar o processo de melhoria entre o novo sistema implantado de supressão de pó por glicerina e o sistema de lavador de gás usualmente utilizado na usina de pelotização para contenção de material particulado.

2.2 Objetivos Específicos

1. Apresentar o processo e a importância da produção de pelotas;
2. Mostrar a importância do controle de poluição por material particulado em processos de usinas de pelotização;
3. Mostrar as vantagens, desvantagens, grau de eficiência no processo e quantificar as variáveis do sistema de glicerina implantado e o sistema de lavador de gás, ambos utilizados na usina de pelotização para contenção de material particulado;
4. Mostrar a importância e apresentar caracterizações dos demais sistemas de contenção de material particulado utilizados pela empresa, quantificando e mapeando os pontos de formação de particulado;
5. Mostrar as etapas do processo de supressão de pó que integra o sistema de glicerina implantado e o lavador de gás.

2.3 Estrutura do trabalho

O trabalho em questão é dividido em 11 capítulos, onde inicialmente se visa fazer uma contextualização histórica do processo de pelletização, explicando e descrevendo a evolução tecnológica na formação de pelotas de minério de ferro, os métodos e testes que eram empregados, os países pioneiros nesta tecnologia e os primeiros resultados que foram alcançados pelas usinas de pelletização visando se ter uma mistura de insumos e finos do minério de ferro para formação das pelotas. Após uma análise histórica é importante ressaltar o quanto o processo de pelletização é importante para o Brasil e sua economia com o minério de ferro e para siderurgia para formação do aço.

Para uma melhor compreensão dos processos utilizados na usina de pelletização e entender o alto grau de importâncias destes equipamentos ambientais na área operacional que é objeto de estudo neste trabalho, será feita uma explicação geral de todos os processos que constituem a planta, afim de mostrar o processo de fabricação de pelotas e entender como ocorre a formação de materiais particulados bem como seus métodos de prevenção.

Após entendimento do processo de formação de pelotas, irá se discutir sobre uma problemática global, ou seja, os problemas gerados por partículas de poluentes que são lançados na atmosfera, visando principalmente sua aplicação no ramo industrial. A empresa estudada, é uma empresa global e seus processos acabam por impactar nas alterações do meio ambiente, por esse e outros motivos a empresa investe fortemente em equipamentos de controle ambiental, visando garantir sua contribuição para manutenção do bem estar do mesmo. No início da obra de revitalização a empresa já usava equipamentos de controle ambientais eficientes, os mesmos serão explicitados neste trabalho, porém, com a necessidade de crescimento da planta e aumento da produção, houve a necessidade de modernização e implantação de novos equipamentos de controle, novos lavadores de gases e o sistema de glicerina, foco da pesquisa em questão.

Para dar continuidade ao processo construtivo da pesquisa, será mostrado o sistema de glicerina, bem como suas definições e formas de implantação, além dos resultados que o novo sistema gerou para a Usina de Pelotização em termo de vantagens e melhorias no processo.

3 PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO

3.1 Desenvolvimento Histórico

As pelotas, *sínter feed*, *pellet feed*, são aglomerantes do minério de ferro. “*Tais aglomerantes, tem seu processo de formação nos finos do minério e tem a sua utilização nos fornos e nas plantas de redução direta, devido aos efeitos de redução da permeabilidade dos fornos, causando distúrbios na operação dos mesmos*” (NUNES, José, 2004).

Países como Suécia e Alemanha foram impulsionados a dar especial atenção ao processo de sinterização e por consequência ao problema da concentração de finos. Na Suécia os finos passaram a não ser adicionados ao “*sínter*”, mas passaram a ser formados em bolas. Com a adição de água e depois endurecidas. Com uso de pasta ou via processo térmico, com patente de 1912 em nome de Swede A. G. Andersson. Em 1913 a patente sobre o processo de formação de pelotas de finos de minério foi dada a C. A. Brackelsberg na Alemanha (Meyer, 1980).

Resultados de testes de Brackelsberg mostraram que as pelotas eram mais rapidamente reduzidas que os granulados de minério ou sinter. Em 1926 a Krupp construiu uma planta piloto de capacidade de 120 toneladas por dia, a Rheinhausen Stell Plant, que funcionou até 1937. A partir desta data houve uma paralisação no processo de pelotização. Em 1943, intensivo desenvolvimento sobre o processo de pelotização foi iniciado com orientação da Universidade de Minnesota com o objetivo de manter o suprimento de minério de ferro proveniente da mina de Lake Superior, especialmente de Mesabi Range, nos Estados Unidos. Em 1946 na Suécia foi fundado o Jernkontoret, o Instituto de Ferro e Aço da Suécia, em Estocolmo para aplicar finos, o que propiciou o surgimento de várias pequenas plantas industriais e foi o impulso decisivo para futuros desenvolvimentos no processo de redução direta. (NUNES, José, 2004).

Como resultado de intensiva cooperação entre grandes companhias de mineração americanas, a Reserve Mining Co, a Erie Mining Co, e a Universidade de Minnesota, em 1955, foram inauguradas duas grandes plantas industriais de pelotização com capacidade anual de 12 milhões de toneladas. Neste tempo, nem os Estados Unidos e nem a Suécia estavam

interessados em outros processos de pelletização que não os processos utilizando concentrados de minério de ferro, mas nova situação estava surgindo no mundo, com o melhoramento de várias etapas do processo de sinter, desenvolvendo nova variante para formar a base de novo processo de pelletização com minério de ferro e misturas. Este novo processo teve início no final da Primeira Grande Guerra, com importância de acordo com a viabilidade das reservas existentes em vários países. (NUNES, José, 2004).

Em vários países, a partir de 1948 até 1980, o processo de sinterização foi desenvolvido para se adaptar à variação do suprimento de minérios de granulometria diferentes. Como resultado foi aplicado o processo de pelletização, para não somente com uso de concentrados, mas também outros minérios finos (Meyer, 1980).

3.2 Produção de pelotas de minério de ferro

Nos dias atuais, a pelletização desenvolve um importante papel quando se refere a fabricação do aço. As pelotas constituem uma das matérias primas básicas dos altos-fornos. Dados de 2001 indicam que em torno de 280 milhões de toneladas são produzidas anualmente, sendo que o Brasil contribui com aproximadamente 38 milhões de toneladas (Borim, 2000).

Mundialmente se nota uma forte tendência no crescimento do consumo de pelotas, dentre os vários fatores, pode-se destacar uma queda na oferta de material granulado do minério de ferro que possuem elevados teor, os altos fornos possuem um elevado rendimento que acaba por gerar uma maior produtividade de pelotas. A implementação de melhorias nos processos do minério de ferro em instalações industriais pode ser encontrada em Heep H. (Heep, 1999).

De tempos atrás para cá, houve uma grande expansão das usinas de pelletização no mundo todo, e diretamente proporcional ao crescimento da produção de pelotas, como principal mercado, destaca-se a China, (Conforme figura 2).

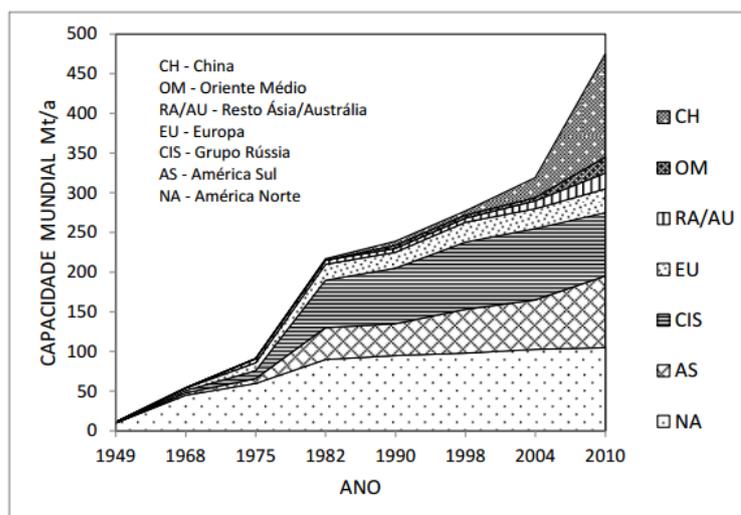


Figura 2. Evolução da capacidade mundial de produção de pelotas.

Fonte: (Mourão, José Murilo, 2017).

3.3 A importância econômica do ferro no Brasil

A indústria da mineração do ferro tem grande importância na economia brasileira. Até a década de 1970, os países europeus eram grandes produtores de minério de ferro. No entanto, com as mudanças ocorridas no cenário da geografia mundial do comércio de minério de ferro no período de 1960-2000, os centros de produção passaram a ser China, Brasil, Austrália e Índia (MORAES, Sandra, 2014).

De acordo com (Jesus, 2011), as reservas mundiais de minério de ferro (medidas e indicadas) são da ordem de 180 bilhões de toneladas. No Brasil, as reservas chegam a 20,4 bilhões de toneladas (11,6%), situando o país em quinto lugar em relação às reservas mundiais. Porém, em termos de ferro contido, assume lugar de destaque, devido ao alto teor encontrado nos minérios do tipo hematita (60 a 67% de ferro), predominante nos minérios ricos no Pará e Itabirito (43,6% de ferro) predominante em Minas Gerais, devido ao esgotamento das camadas superficiais mais ricas.

A produção de minério de ferro no Brasil em 2012 e 2013 foi da ordem de 398 milhões de toneladas, segundo dados do (U.S. Geological Survey), com um teor médio de 64,69% de

ferro. A produção nacional de pelotas em 2011 foi 47,2 milhões de toneladas de acordo com dados do (Sindicato Nacional da Indústria da Extração de Ferro e Metais Básicos – SINFERBASE, 2013).

Segundo dados do (SINFERBASE, 2013), Os principais produtos básicos de ferro exportados pelo Brasil em 2013 foram: (Finos e granulados – 86% e Pelotas – 14%).

3.4 A importância da Pelotização para Siderurgia

Como tratado anteriormente o minério de ferro vem em um bom ritmo de crescimento, tendo como principal mercado os países de origem asiática. O minério de ferro que forma as pelotas é a principal matéria prima usada nas usinas siderúrgicas. Quanto maior a quantidade de material gerado, melhor para as empresas mineradoras, porém ao mesmo tempo quanto maior é a produção de material gerado pelas empresas de mineração, maior serão os custos operacionais, maiores serão os investimentos para estocagem destes materiais e por fim quando se tem grandes pilhas de minérios se tem um elevado potencial para impactos ambientais, uma vez que as pilhas produzem materiais particulados em suspensão.

Com o propósito de acompanhar a evolução das empresas siderúrgicas na fabricação do aço, as empresas de mineração pararam de pensar apenas no maior volume de pelotas que deveriam ser embarcadas e buscaram características como: formas mais tecnológicas no seu processo de formação, maior qualidade no seu processos, diversificar nos tipos de pelotas que eram oferecidas aos seus clientes. Estes melhores percentuais de rendimento podem ser aplicados para as pelotas usadas no processo de redução direta e a redução em altos-fornos.

Variáveis como: a origem do minério de ferro que está sendo empregado no processo que forma as pelotas e os valores percentuais de cada aditivo que está sendo acrescido, são de fundamental importância quando se almeja ter uma pelota mais competitiva no mercado. As empresas investem em tecnologias que acima de tudo geram: grandes avanços na extração de minérios, uma mistura entre finos e aditivos visando se ter uma concentração ideal para se formar pelotas de maior qualidade para formação do aço. Tais estudos que visam melhorias nos

processo e outras variáveis como as que foram citadas acima, estão em análise pelas empresas de mineração em conjunto com universidades.

3.5 A Usina de Pelotização

A usina de Pelotização está situada na área do porto A planta dos circuitos da moagem e da filtragem que são utilizado na formação do “*Feed*” (Matéria prima para formação das pelotas), que alimenta a usina de pelotização, fica localizada em outro estado. A usina de pelotização tem a sua alimentação através do minério de ferro que é proveniente das minas, vindo por meio de estrada de ferro para o terminal portuário.



Figura 3. Usina de pelotização e a formação de pelotas.

Fonte: (IPT – Instituto de pesquisas tecnológicas, 2017).

A Usina de Pelotização deu início a suas operações em 2002 e teve sua paralisação em 2012 após um período de 10 anos de operação. O processo de desmobilização e transferência dos ativos da planta se deu concentração no início de 2014 até o final de 2015. Logo no primeiro trimestre de 2016 houve esforços para continuação de pequenas atividades, principalmente para conservação da usina, motivado principalmente pelo risco estrutural, a instalação de barreiras

físicas, para isolamento das áreas da usina que geravam grandes riscos à segurança e para dificultar o acesso de estranhos.

Em 2017 o mercado voltou a ser favorável para expandir o segmento de pelotas, e para início do ciclo de formação de pelotas, foi necessário se fazer a revitalização das etapas de moagem e filtragem (Início do processo). Dentre as variadas atividades no período de revitalização da usina, destaca-se a instalação do sistema de supressão de pó por adição de glicerina em substituição dos lavadores de gás.

4 CONTROLE AMBIENTAL NO SETOR INDUSTRIAL

As empresas vem ao passar do tempo adotando novas estratégias ambientais. A década de 1970, época em que a abordagem era calcada na realocação ou diluição dos poluentes, realizadas no sentido da minimização dos impactos locais. Em uma nova fase, a crescente importância de valores ecológicos na sociedade estimulou gradativamente os setores produtivos a adotar equipamentos de controle de poluição. Uma abordagem mais recente se baseia no conceito de Produção Mais Limpa, que significa a prevenção e minimização da geração de poluentes e adoção de tecnologias mais eficientes no uso de energia e materiais. (CAVALCANTI, Pedro, 2012).

O setor da mineração vem sofrendo grandes evoluções no que diz respeito a tecnologia, particularmente quando se trata de aspectos ambientais. O ramo da mineração consome uma grande quantidade de energia, gera altos volumes de insumos, rejeitos e poluentes. De forma paralela, o setor vem investindo muito em variáveis como: competitividade do produto, a busca por melhores qualidades, ou seja, a eficiência e desempenho além da redução dos impactos ambientais, todos em busca de resultados para controle de poluição atmosféricas. Os investimentos em tecnologias limpas, equipamentos de controle de poluentes, aproveitamento de rejeitos de minério e a prática da reciclagem, estão dando bons retorno econômico-financeiro para a mineração e demais setores industriais. Países em desenvolvimento estão em etapa de adequação do processo, uma vez que os investimentos ainda são altos. Segundo (CAVALCANTI, Pedro, 2012), os recursos naturais são limitados, e alguns já são escassos, e torna-se um desafio dar saltos qualitativos em direção a um melhor desempenho ambiental e maior competitividade na indústria, tornando-se uma estratégia de longo prazo que já tem sido enfrentada pela indústria.

4.1 Poluentes Atmosféricos

A definição de poluentes atmosféricos é vista em várias literaturas. De maneira simplificada “Entende-se como poluição, o ato de introduzir uma substância, qualquer que seja, que por sua alta concentração, se torna prejudicial à saúde humana e do meio ambiente”. (ASSUNÇÃO, 1998) aborda a poluição atmosférica como sendo um fenômeno decorrente principalmente da atividade humana em vários aspectos, dentre os quais destacam-se o rápido crescimento populacional, industrial e econômico; a concentração populacional e industrial; os hábitos da população e o grau de controle, ou sejam, as medidas adotadas para controle de poluição atmosférica.

Os poluentes atmosféricos podem se dar em forma de fontes naturais (vulcões e neblinas) ou por meio de fontes artificiais (São aquelas provenientes de atividades humanas) (eCycle, 2010/2019). Quando o assunto é poluentes atmosféricos, estes estão diretamente ligados ao termo “contaminação” e, é definido como um aumento ou até mesmo redução de componentes de origem natural que estão presentes na atmosfera, e são decorrentes principalmente de ações humanas. Existem vários tipos de materiais poluentes como: as partículas em suspensão, o monóxido de carbono, o ozônio, dióxido de enxofre, estes são listados pois são os que causam maior malefícios ao meio ambiente e para saúde humana.

(ASSUNÇÃO, 1998) classifica os poluentes atmosféricos em função do seu estado físico e de acordo com sua origem. Em relação ao estado físico, os mesmos podem ser identificados como (Material particulado, gases e vapores), em relação a origem são classificados em (primários e secundários). Os primários são aqueles emitidos na atmosfera de forma direta, são exemplos de fontes primárias: os particulados, dióxidos de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos. Os secundários são os produzidos por meio de reações químicas entre os primários e outros componentes normais na atmosfera, são exemplos de secundários o ozônio.

(CAVALCANTI, Pedro, 2012), defini as demais fontes de poluentes, são elas:

- Dióxido de Enxofre: A emissão de dióxido de enxofre (SO_2) estão relacionadas ao processo que utilizam o carvão mineral como matéria prima, bem como os

processos de combustão, que utilizam combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos, contendo enxofre.

- Óxidos de Nitrogênio: A emissão de óxido de nitrogênio (NO_x) está relacionada aos processos de combustão que utilizam combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos.
- Monóxido de Carbono: A emissão de monóxido de carbono (CO) está relacionada aos processos de combustão que utilizam combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos e, também aos processos de redução no alto forno.
- Compostos Orgânicos: A emissão de compostos orgânicos está relacionada ao processo de produção, emissão de frações voláteis existentes no carvão mineral e nos processos de combustão, devido à queima incompleta dos combustíveis utilizados.

Tabela 1. Classificação dos poluentes atmosféricos.

Fonte: (ASSUNÇÃO, 1998).

CLASSIFICAÇÃO	EXEMPLOS
MATERIAL PARTICULADO	Poeiras, fumos, fumaça, névoas.
GASES E VAPORES	CO , CO_2 , SO_2 , O_3 , NO_x , HC, NH_3 , cloro, H ₂ S.
POLUENTES PRIMÁRIOS	CO , SO_2 , cloro, NH_3 , H_2S , CH_4 , mercaptanas.
POLUENTES SECUNDÁRIOS	O_3 , aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos.
POLUENTES ORGÂNICOS	HC, aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, partículas orgânicas.
POLUENTES INORGÂNICOS	CO , CO_2 , cloro, SO_2 , NO_x , poeira mineral, névoas ácidas e alcalinas.
COMPOSTOS DE ENXOFRE	SO_2 , SO_3 , H_2S , sulfatos.
COMPOSTOS NITROGENADOS	NO, NO_2 , HNO_3 , NH_3 , nitratos.
CARBONADOS ORGÂNICOS	HC, aldeídos, álcoois.
COMPOSTOS HALOGENADOS	HCl, HF, CFC, cloretos, fluoretos.
ÓXIDOS DE CARBONO	CO , CO_2 .

4.2 Efeitos da poluição atmosférica

(ALMEIDA, Ivo, 1999), em sua dissertação, faz uma análise de cada setor relevante, no qual a poluição atmosférica pode vir a afetar, entre eles destaca-se: Os efeitos sobre a saúde humana, sobre a fauna e flora, além do efeito sobre os materiais. Dentre os efeitos a saúde humana, estão o desconforto, doenças respiratórias, irritações dos olhos, doenças cardiovasculares e até mesmo a morte. Os efeitos sobre a vegetação estão na necrose da de árvores, supressão da taxa de crescimento, interrupção do ciclo reprodutivo da planta. (ASSUNÇÃO, 1998). Sobre a fauna a poluição atmosférica causa o aumento de doenças, diminuição de fontes de alimento, reduz a capacidade de reprodução e outros fatores. Por último e não menos importante, a poluição está aliada aos materiais, onde a deposição de partículas (Poeira e fumaças) causam erosão, corrosão, enfraquecimento e decomposição de materiais.

4.3 Material Particulado

As partículas sólidas ou líquidas emitidas por fontes de poluição do ar ou mesmo aquelas formadas na atmosfera, são denominadas de material particulado e, quando dispersas no ar, formam os chamados aerossóis (Entende-se como aerossóis o conjunto de partículas sólidas e/ou líquidas que são suspensas por meio gasoso). Quanto à origem, podem ser provenientes tanto de fontes naturais como antropogênicas (Entende como antropogênica as fontes provenientes de processos industriais), podendo ainda ser emitidos diretamente por essas fontes (partículas primárias), bem como serem formadas na atmosfera a partir da interação de compostos preexistentes (partículas secundárias). Essas partículas variam consideravelmente em tamanho, morfologia, composição química e propriedades físicas (UNEP/WHO, 1994 e GODISH, 1991).

(RAVEN et al. 1995), apontam como sendo três as principais fontes primárias de poluição do ar por material particulado (Conforme figura 4), os processos industriais (Exceto

queima de combustíveis), a queima de combustíveis (exceto em veículos) e o transporte (veículos automotores).

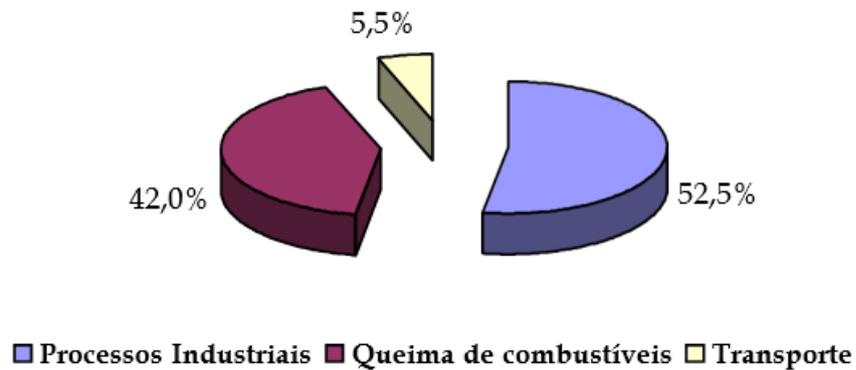


Figura 4. Principais fontes primárias de material particulado.

Fonte: (RAVEN et al, 1995).

O material particulado é a fonte encontrada em maior abundância em usinas de pelotização, e são resultantes de processos produtivos. As etapas do processo de formação de pelotas que serão debatidos nos próximos capítulos, geram em menor ou maior grau o material particulado, principalmente emissões de origem pontual (Que são aquelas provenientes de processos de combustão, chaminés e dutos como os que serão citados na região do forno e os sistemas de controle ambiental pelos lavadores de gás).

A classificação e divisão do material particulado segundo o seu método de formação, foi dividida em quatro classes em estudos realizados por (ASSUNÇÃO, 1998), o mesmo conceitua cada uma delas:

- **Poeiras:** Partículas sólidas formadas geralmente por processos de desintegração mecânica. Tais partículas são usualmente não esféricas, com diâmetro equivalente em geral na faixa acima de 1 μm ;
- **Fumos:** Partículas sólidas formadas por condensação ou sublimação de substâncias gasosas originadas da vaporização / sublimação de sólidos. As partículas formadas são de pequeno tamanho, em geral de formato mais esférico;

- Fumaça: Partículas principalmente sólidas, formadas na queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira. Contém fuligem (partículas líquidas) e no caso de madeira e carvão, uma fração mineral (cinzas). São caracterizadas por partículas de diâmetro muito pequeno.
- Névoas: Partículas líquidas produzidas por condensação ou por dispersão de um líquido (atomização). Apresentam tamanho de partícula em geral maior que 5 µm.

4.4 Legislação Ambiental

O CONAMA é um órgão majoritário e tem como principal objetivo, pré estabelecer os processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos. Além disso o órgão é responsável por repassar aos municípios a tarefa de decidir sobre as áreas de impacto e se a região que está alocado um empreendimento ou se instalará um empreendimento vai poder ser utilizada ou não.

Além de licenciamentos ambiental, é dever da CONAMA fazer a avaliação de impactos ambientais (AIA) que é instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente. Está na resolução CONAMA 001 de 1986 a definição para impacto ambiental. Segundo a (CONAMA 001, 1986), Impacto Ambiental é caracterizado pela alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente fatores como: A saúde, segurança e bem estar da população; atividade sociais e econômicas; a biota existente; condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Nesta mesma resolução se define as diretrizes para realizar os estudos de impactos ambientais (EIA), são elas: Complementação das alternativas tecnológicas e localização do projeto confrontando-se a hipótese de não execução do projeto; Fazer a identificação e avaliação dos impactos ambientais que são gerados na fase de implantação e operação; Definir quais são os limites das áreas geográficas que serão direta e indiretamente afetadas pelos impactos, que também é chamada de área de influência do projeto.

4.5 Padrões de Qualidade do Ar

Os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são: fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica quando os níveis de poluentes possam representar risco a saúde pública; avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas; acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas a alterações nas emissões dos poluentes. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada. (CETESB, 1998).

No Brasil o monitoramento da poluição atmosférica e o controle da qualidade do ar são previsto em legislação, onde se tem o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar. Tais padrões são estabelecidos pela portaria da CONAMA em 28/06/90 e transformados na Resolução CONAMA nº 03/90 que estabelece dois tipos de padrões: os primários e 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.

Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA nº 03/90 são apresentados na (Tabela 2).

Tendo as seguintes referências:

- (1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.
- (2) Média geométrica anual.
- (3) Média aritmética anual.

Tabela 2. Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de referência.

Fonte: Resolução CONAMA nº 03/90 de 28/06/90.

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m ³	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m ³	MÉTODO DE MEDIÇÃO DE REFERÊNCIA
Partículas Totais em Suspensão	24 horas ⁽¹⁾ MGA ⁽²⁾	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Dióxido de Enxofre	24 horas MAA ⁽³⁾	365 80	100 40	Pararosanilina
Monóxido de Carbono	1 hora ⁽¹⁾ 8 horas	40.000 35 ppm 10.000 (9 ppm)	40.000 35 ppm 10.000 (9 ppm)	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora ⁽¹⁾	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas ⁽¹⁾ MAA ⁽³⁾	150 60	100 40	Refletância
Partículas Inaláveis	24 horas ⁽¹⁾ MAA ⁽³⁾	150 50	150 50	Separação Inercial/Filtração
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ⁽¹⁾ MAA ⁽³⁾	320 100	190 100	Quimiluminescência

5 FORMAÇÃO DE PELOTAS

Neste item irá se discutir as etapas do processo de pelletização, bem como enumerar os principais pontos de formação de material particulado e os principais equipamentos de controle de emissão usados em cada etapa na usina. Com objetivo de estar mapeando os pontos de maior concentração de material particulado e apresentar valores quantitativos de supressão destes pontos, a metodologia empregada foi a realização de visitas em área e manuais técnicos elaborados pelo fabricante de cada equipamento.

5.1 O que é Pelotização?

O processo de pelletização tem como objetivo a formação de esferas (conhecidas como pelotas) por meio de processos térmicos de alto forno, ou seja, pelotas de alto forno, a partir da união de insumos em suas devidas quantidades com minério de ferro na forma de finos “*Pellet Feed*”, que nas usinas siderúrgicas são usadas para fabricação do aço. A planta de pelletização, modifica o material que é introduzido no alto-forno, criando como produto final um composto homogêneo com uma maior adequação das características tanto de origens químicas como físicas. Estas esferas são produzidas em alto-forno com a mistura de insumos e o fino do minério de ferro. Sua geometria arredondada facilita a inclusão de porosidades e a percolação de gases de alto-forno. Pelotas, “*Pellets*”, como representado na (Figura 5), possuem propriedades como: distribuição uniforme de tamanho (9 a 15 mm de diâmetro), grande concentração de ferro (maior que 63%), alta porosidade (de 25 a 30%), praticamente sem perdas ao fogo, com uniformidade mineralógica, com alta e uniforme característica mecânica e baixa tendência à abrasão. (NUNES, José, 2004).



Figura 5. Pelotas, matéria prima para fabricação do aço.

Segundo o site (Vale.com, 2017), “*Para a produção de 1 tonelada de pelotas são necessários 990 kg de minério de ferro*”. As minas fornecem o *pellet feed* que é utilizado na usina de pelotização, as pelotas que são produzidas na usina devem atender as diferentes exigências e especificações que são impostas pelo cliente. Muitos fatores podem vim a favorecer a degradação das pelotas, tais como as movimentações entre os pátios de estocagem para o carregamento e descarregamento dos navios. Por isso, a qualidade das pelotas produzida deve ser superior à da pelota embarcada (Silva, 2010).

Outro quesito que deve ser levado em consideração é a qualidade nas pelotas que são produzidas, essa variável depende de vários fatores, entre eles se pode destacar: a quantidade de insumos que são utilizados; o bom funcionamento dos processos que integram a usina de pelotização; as características físicas, mecânicas e metalúrgicas; o tamanho das pelotas que são formadas que devem estar de acordo com a faixa especificada pelo processo.

5.2 Início do processo

O início do processo de formação de pelotas acontece em outro estado, que além de fornecer o minério utilizado no processo, aplicam as etapas de moagem e filtragem.



Figura 6. Planta da moagem e filtragem.

Fonte: (Projeto de retomada da Pelotização, 2017).

- Moagem: Nesta etapa se tem a redução dos materiais sólidos. Na empresa, esta etapa é primordial, uma vez que a divisão de materiais sólidos visa especificar as granulometrias ideais para o processo.
- Filtragem: Esta etapa ocorre após a etapa de moagem, uma vez que na etapa de moagem se tem a utilização de material ainda úmido, logo a filtragem se faz necessário para que o material venha atender as especificações do processo.

Para início de processo, as matérias primas que estão envolvidas (finos de minério – *Pellet feed* e insumos) chegam por caminhos diferentes e alguns processos se antecedem antes do seu encontro no prédio da “Mistura”. Os finos de minério denominado *Pellet feed* chegam aos pátios das unidades produtoras vindo das minas por meio da estrada de ferro, e de forma paralelamente, os caminhões descarregam os insumos que serão usados no processo, no “Galpão de recebimento de insumos”, que é considerada o caminho de chegada dos insumos.

Os finos que são recebidos pelo sistema possui características específicas e são essenciais para o processo e como mencionado, a matéria prima que é predominante no processo de pelotização é o “*Pellet feed*”, minério de ferro que possui uma granulometria predominante abaixo de 0,150 mm, desta forma pode ser considerado um material ultrafino. A seguir se tem a comparação entre os principais materiais que são utilizados:



Figura 7. Diferença Granulométrica dos finos.

Fonte: (Mineração Usiminas, 2019).

De acordo com o site (Mineração Usiminas, 2019), os materiais que foram descritos na (Figura 7) possuem as seguintes características:

- Granulado (50mm – 6.3mm): Minério de ferro obtido após britagens e peneiramentos iniciais. Seu formato naturalmente aglomerado permite a carga direta no alto-forno;
- Sinter Feed (6.3mm – 0.150mm): É o minério de ferro mais utilizado pelas siderúrgicas no mundo e é obtido em fases posteriores do beneficiamento. Antes de ser utilizado no alto-forno, o *sinter feed* deve ser aglomerado em unidades de sinterização;
- Pellet Feed (<0.150mm): O mais fino dos três tipos de minério (menos de 0,15 mm). É usado misturado ao *sinter feed* ou para alimentar o processo de pelotização, que transforma o fino de minério em pelotas que serão carga nos altos-fornos siderúrgicos.

5.3 Etapas do processo de formação de pelotas

O processo utilizado na pelotização pode ser compreendido através do fluxograma a seguir conforme (Figura 8).

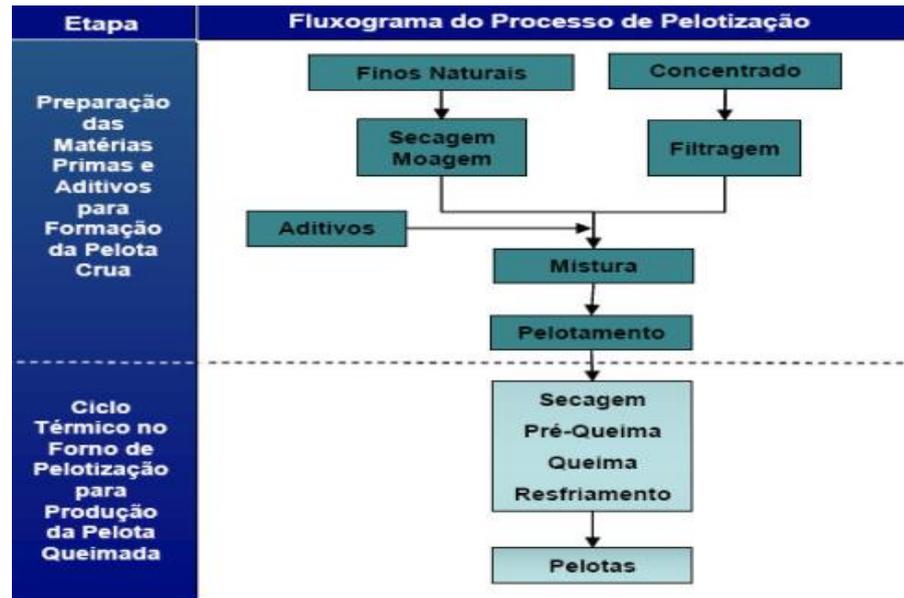


Figura 8. Fluxograma do processo de Pelotização.

Fonte: (Costa, 2008).

Com os insumos já no processo, estes são transportados para estocagem no “Galpão de estocagem de insumos”, onde neste, temos as determinadas barreiras de contenção para separação de cada material em sua baía.

5.4 1º Ponto de formação de material particulado

Quando os insumos são descarregados no galpão de recebimento, na queda do material gera uma grande concentração de material particulado, para se ter o controle do mesmo, a empresa utiliza um equipamento chamado de FM (Filtro de manga). O “FM 813K-01” faz a supressão dos materiais particulados no galpão de recebimento de insumos, região de queda de material, e este tem as seguintes características, de acordo com o (Manual do sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017)

- Nº de pontos de captação: 16 pontos;
- Quantidade de mangas: 372 mangas;
- Área filtrante: 641 m²
- Concentração de sólidos na descarga: 50 mg/m³



Figura 9. FM 813K-01.

Os insumos antes de chegar ao galpão, passa por uma CT (Casa de transferência), conforme (Figura 10). Posteriormente são alojados em suas respectivas baias.

5.5 2º Ponto de formação de material particulado

Quando os insumos são transferidos de um transportador para o outro através da casa de transferência como mostrado na (Figura 10), gera uma parcela de material particulado, este sofre uma supressão por meio de um FM (Filtro de manga). O “FM 813K-02”, que tem por função e acessórios do sistema de despoeiramento na transferência dos transportadores, e possui as seguintes características, de acordo com o (Manual do sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017).

- Nº de pontos de captação: 1 ponto;
- Quantidade de mangas: 24 mangas;
- Área filtrante: 27,6 m²
- Concentração de sólidos na descarga: 50 mg/m³



Figura 10. Casa de transferência.

Os insumos que chegaram são processados no “Galpão de recebimento de insumos”, enquanto que o *Pellet feed* é estocado no pátio para dar entrada ao processo, estas duas matérias primas voltam a se encontrar apenas na etapa de “Mistura”, conforme será descrito nos processos posteriores.

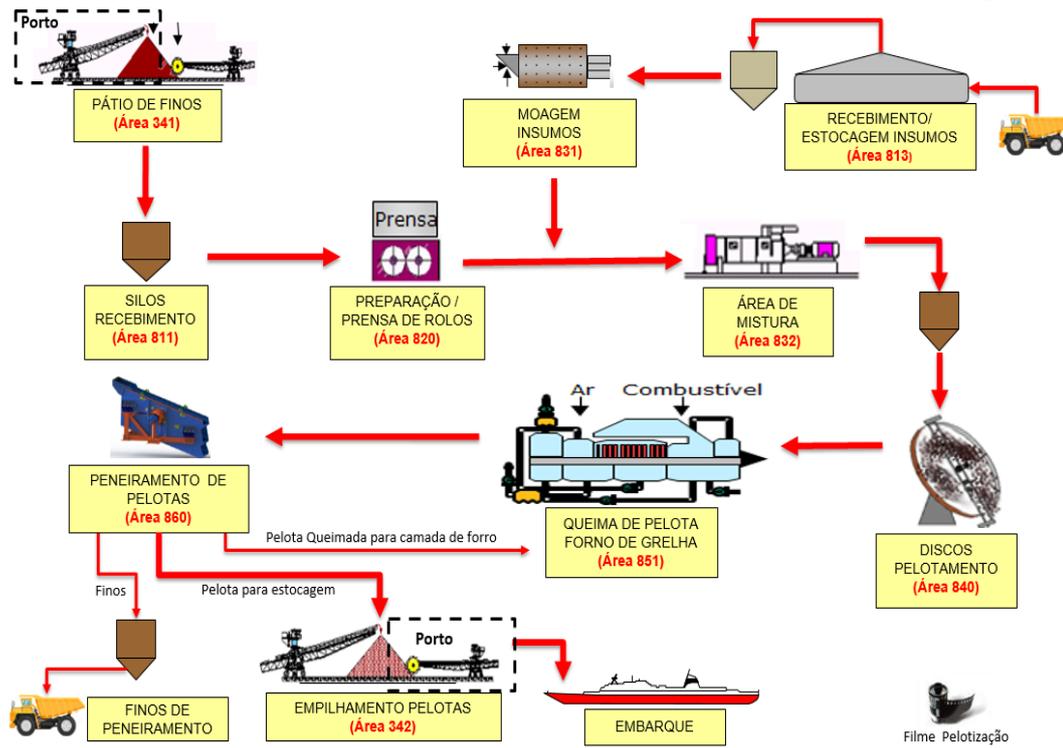


Figura 11. Macro fluxo do processo de Pelotização.

Fonte: (Projeto de retomada da usina de Pelotização, 2017).

5.6 Moagem

Nesta etapa os insumos são processados e passam por equipamentos como os (Moinhos Verticais e de Bolas), equipamentos que são essenciais no processo.



Figura 11 (a). Moinho de Vertical, vista lateral.



Figura 11 (b). Moinho de Bolas, vista lateral.

Moinho Vertical: No moinho vertical, os materiais são alimentados através de eclusa de brita aquecida ou válvula rotativa que proporciona a vedação do sistema, distribui os insumos a granel com granulometria grossa de forma gradativa de acordo com o pedido de alimentação e possui um design que permite a passagem interna de gás quente, evitando assim, a colagem de material úmido em seu interior.

Moinho de Bolas: O material é conduzido até uma antecâmara onde é feita uma pré-secagem do material. Após a moagem, o material é conduzido através do fluxo de gás quente produzido pelo gerador de gás quente a um separador onde o material fino (dentro da especificação) é conduzido para o filtro de mangas, enquanto que o material grosso (fora da especificação) retorna ao moinho através da calha pneumática, através de um leito fluidizado.

O material fino, gerado pelo esforço de moagem, será arrastado, pelo fluxo de gás quente, até o separador dinâmico, localizado acima da mesa de moagem. Esse fluxo de gás quente, produzido pelo gerador de gás quente, será responsável pela secagem do material. No

separador dinâmico o material será classificado de maneira que o material fino (dentro da especificação) seguirá com o fluxo de gases quentes diretamente para o filtro de mangas.

5.7 3º Ponto de formação de material particulado

Os insumos processados na moagem, geram elevados teores de materiais particulados, nesta etapa o equipamento responsável pelo despoeiramento (Filtro de manga da área da Moagem). A imagem do equipamento pode ser vista a seguir conforme (Figura 12).



Figura 12. Filtro de Manga da Moagem FM 831K-01.

O filtro de manga da moagem que atua no despoeiramento dos gases do moinho vertical de rolos, atuando diretamente no processos de moagem dos insumos, alimentando o transportador de rosca, de acordo com o (Manual do sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017).

- Vazão de gás: 300.000 m³/h;
- Material manuseado: Calcário Calcítico, Dolomítico, antracito, bentonita;
- Temperatura: 100 °C;
- Relação ar/pano: 1,2 m³/ (min x m²);
- Teor de pó na entrada: 500 g/m³;
- Teor de pó na saída: máximo 50 mg/Nm³;

- Potência do ventilador: 15 cv.;

5.8 Alimentação, preparação e prensagem

Nesta etapa, apenas os finos de *Pellet feed* são processados, para garantir a sua qualidade e que apenas o material possa adentrar ao processo, a etapa de alimentação e preparação é fundamental, nesta etapa encontra-se equipamentos como: Peneiras vibratórias, extratores de metal, detectores de metal, e outros. O *Pellet feed* que é transportado do pátio de estocagem para o interior da planta de Pelotização chega por transportador, como mostra a (Figura 13).



Figura 13. Transportador de início do processo.

Fonte: (Projeto de retomada da Pelotização, 2017).

Como descrito, na chegada do “Prédio da Preparação”, o fino de minério passa por uma série de etapas e equipamentos, entre eles estão as peneiras vibratórias, que tem o objetivo de retirar corpos estranhos (sucatas) que podem se encontrar misturados ao minério, já que estes podem danificar seriamente a prensa, destruindo por sua vez a proteção ao desgaste dos rolos caso entre em contato com o equipamento. Após as peneiras o fino passa por extratores e detectores de metais, que são utilizados para retirar sucatas presentes no minério. Já a prensa de rolos tem por finalidade a quebra de grãos afim de atingir a superfície que é específica e ideal para o processo ao qual o mesmo será destinado. A cominuição do material a ser moído é executado por uma pressão extremamente alta na folga entre dois rolos que tem giro oposto.

Neste tipo de prensagem, a estrutura do material que é alimentado é fragmentado após passar pela folga do rolo. De uma forma geral, o material deixa o par de rolos com a aparência de uma fita comprimida.

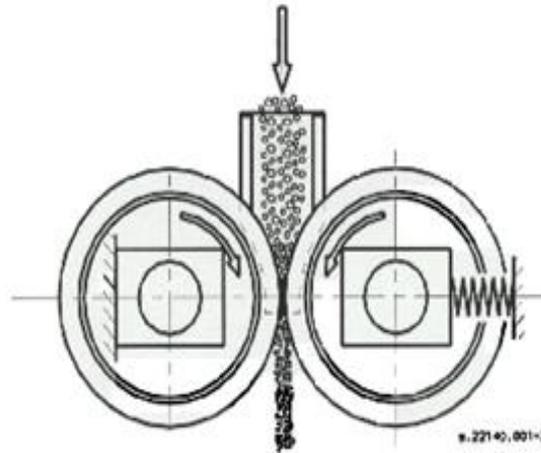


Figura 14. Princípio de Moagem.

Fonte: (Manual do sistema de gestão da qualidade, 2017).

Após a aprovação no sistema, o material já prensado e qualificado são levados por transportadores de correias para o prédio da Mistura.

5.9 Mistura

Nesta etapa tanto os insumos que já passaram pela moagem e os finos de minério que passaram pelas etapas de preparação e prensagem se encontram e formam um bolo de massa no prédio da mistura. Esta etapa é responsável por incorporar os insumos ao processo de Pelotização. Tais produtos são adicionados para balancear ou adequar a composição química, e as estruturas físicas da pelota, de acordo as especificações que são requeridas pelo cliente final. A etapa de mistura compreende equipamentos como: Misturadores, amostradores, e elementos de controle de material particulado, além de outros instrumentos e componentes que são fundamentais para o processo. Na (Figura 15), tem-se a marcação exata do encontro entre os insumos que foram processados na moagem, e o fino de minério de ferro que foi processado na preparação e prensagem.



Figura 15. Prédio da Mistura.

Os misturadores equipamento usado para homogeneização entre minério, aglomerantes e insumos, é fator importante para formação de pelotas cruas com resistência a queda e composições químicas uniformes. Esta composição físico-química é essencial pois irão dar características que serão fundamentais para os próximos processos, como o pelotamento. A mistura ocorre quando o material passa do ponto de alimentação para o ponto final, ou seja, a descarga do misturador.

Quando se trata do sistema de amostragem, este é um equipamento fundamental, pois controla a qualidade das pelotas que estão sendo produzidas e levadas aos clientes.

5.10 4º Ponto de formação de material particulado

O sistema de despoejamento da mistura estão equipados com filtros de manga para evitar uma alta concentração de partículas em suspensão nas instalações da usina. Está localizado nos chutes de alimentação dos misturadores, do qual são enclausurados e conectados ao sistema despoejamento. Todo o material coletado pelos filtros de manga serão descarregados através dos chutes diretamente sobre os transportadores e reconduzidos aos misturadores. Os filtros de manga do chute de alimentação dos misturadores possuem as seguintes características:

- Tipo material operação: Minério de ferro, calcário Calcítico, calcário Dolomítico, antracito, sílica, bentonita;
- Área filtrante útil: 176 m²
- Temperatura operação: 60°C;
- Máx. pressão admissível: 600 mmCA.

5.11 Pelotamento

O pelotamento é conhecido como o processo de aglomeração do minério em forma esférica, logo após por processo que incluem: a preparação do composto na moagem, o espessamento e a filtração, além da prensagem e da mistura.

Os discos de pelotamento são alimentados por silos, ou seja, existe 1 silo para cada disco, e a quantidade de material disponível em cada silo é sempre mantida. Raspadores que são operados pneumáticamente, foram montados sobre o transportador de distribuição de materiais, visando sempre estabelecer as quantidades corretas para cada silo e posteriormente cada disco, sendo que a alimentação de cada silo é feita automaticamente ou pelo operador. Durante a operação automática, a seleção do silo que deverá ser alimentado é realizado de acordo com a escala de tempo que foi preestabelecida e controlado por meio de raspadores pneumáticos.



Figura 16. Discos de Pelotamento.

Os silos do pelotamento são equipados com cones de descarga vibratória e balanças dosadoras de correias as chamadas BW's para dosagem controlada dos materiais para os discos de pelotamento.



Figura 17. Balança dosadora.

A qualidade das pelotas cruas é caracterizada pela estreita distribuição de tamanho entre 9 a 16 mm e suficiente número de queda de no mínimo 5 (cinco). Dados do (Manual do Sistema de Gestão da Qualidade da empresa, 2017). Após estas etapas as pelotas estão formadas e com dimensões diferentes, as mesmas caem por gravidade na lateral do disco de pelotamento e são levadas as peneiras de rolos, ou seja, outro processo de qualificação de pelotas, evitando que pelotas acima das dimensões que são permitidas passem para as próximas etapas do processo.



Figura 18. Pelotas na descarga do disco.

A (Figura 19), mostra a próxima etapa de seleção de pelotas pré formadas, as peneiras de rolos são outra etapa fundamental no processo de formação das pelotas. Após todos estes processos as pelotas escoam através do transportador de produção para se dar início ao forno.



Figura 19. Peneira de rolos na descarga do disco.

5.12 5º Ponto de formação de material particulado

No pelotamento, se tem a formação de materiais particulados pela queda de material de um equipamento para outro, ou através do choque entre as pelotas. A preocupação ambiental é uma das preocupações da empresa, pois a mesma gera resíduos em seus processos, para isso a empresa mantém suas áreas limpas combatendo os focos de sujeira, evitando o vazamento de óleos, de graxa e outros. A atenção especial deve estar aliada ao equipamento responsável pelo despoeiramento da usina, nesta etapa do pelotamento os filtros de manga atuam de forma constante para supressão dos materiais particulados em suspensão.

5.13 Queima

O processo de queima é onde se tem o endurecimento das pelotas cruas por meio de tratamento térmico. Na usina de Pelotização utiliza-se o sistema de forno de grelha móvel, processo pelo qual a grelha é composta por carros que transportam as pelotas cruas através do forno com fluxo controlado dos gases.

Na chegada do forno, as pelotas verdes passam por outra peneira assegurando para uma maior distribuição das pelotas cruas. Antes da alimentação das pelotas cruas na grelha, é formado um leito de camada de fundo e de camada lateral, consistindo de pelotas queimadas, peneiradas e recirculadas para proteção dos carros contra a alta temperatura nas diferentes regiões do forno. Após a formação do leito de pelotas, os carros de grelha transportam as pelotas para as diversas regiões do forno. O forno de pelotização, descrito resumidamente, é uma estrutura metálica revestida de material isolante e refratário com fluxo de gases definido e controlado por ventiladores de processo, através de 7 zonas de processo que serão definidas posteriormente. (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017).

5.14 Secagem Ascendente

Este é considerado o primeiro estágio do processo, os gases que vem câmara de resfriamento secundário na região final do forno, são recuperados por um ventilador industrial, através de dutos para as caixas de ventos, correspondendo a secagem ascendente. Nas caixas de vento da secagem ascendente, a temperatura gira em torno de 315°C, dados do (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017). Os gases são succionados pelo ventilador de exaustão e processados pelo “Precipitador Eletrostático” para retirada de particulados e lançados na atmosfera.

5.15 Secagem Descendente

Esta é a segunda etapa do processo, os gases que vem da caixa de vento da queima são recuperados pelo ventilador de processo através de dutos para câmara de secagem descendente. A temperatura da câmara gira em torno de 320 a 360°C, dados do (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017). Os gases que são provenientes da caixa de vento são retirados pelo ventilador de exaustão e processados no “Precipitador Eletrostático” e lançados na atmosfera.



Figura 20. Secagem Ascendente e Descendente.

5.16 Pré Queima

Após a etapa de secagem das pelotas, se segue para terceira etapa do processo do forno, a pré queima. Os gases nesta etapa são originados de duas regiões. A primeira é na etapa de resfriamento primário, onde nesta os gases são recuperados através do chamado tubulão, que é um mecanismo chamado de recuperação direta, nesta etapa a temperatura dos gases é de aproximadamente 1.000°C. Os gases que estão contidos no tubulão são transferidos para as câmaras por canais de descida. Já a segunda fonte de gases é das caixas de vento provenientes da queima em torno de 320 a 360°C. Dados do (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017). Assim como nas etapas anteriores os gases que são gerados são retirados por ventiladores e direcionados para os “Precipitadores Eletrostáticos” e depois descartados.

5.17 Queima

Esta é a quarta etapa do processo e também considerada a etapa principal, os gases que são responsáveis por fornecimento de calor aos leitos de pelotas nesta região vem de um tubulão por recuperação direta da câmara de resfriamento primária, passam por canais e descida e são aquecidos posterior pelos queimadores à óleo nas câmaras de combustão. A queima vem a ocorrer a uma temperatura que gira em torno de 1.330°C, e tem seu mantimento em todas as paredes enquanto que a pressão do forno gira em torno de -4 a -10 mm de H₂O, dados do (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017). É nesta etapa que ocorre o efetivo endurecimento das pelotas. As pelotas são queimadas através da transferência de calor de convecção entre os gases do processo e o leito de pelotas.



Figura 21. Transporte de pelotas pelo forno com carro grelha.

5.18 Pós Queima

Esta é a quinta etapa do processo e tem a menor região de reação do forno, isto é, tem apenas 15 m de comprimento. Esta etapa é introduzida para otimização da recuperação de calor. O fluxo de ar no resfriamento é ascendente enquanto que na pós-queima é descendente. É importante evidenciar a importância desta zona para a qualidade das pelotas. Nesta região é onde ocorre a queima da última camada (camada inferior) do leito de pelotas, portanto, se a pós-queima não for eficiente, a qualidade das pelotas será comprometida. (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017).

5.19 Resfriamento Primário e Secundário

São as duas últimas regiões do forno. O ventilador de processo fornece ar à temperatura ambiente (30°C) para estas regiões através de dutos, o fluxo de resfriamento é ascendente. A região de resfriamento possui um comprimento total de 60 m sendo 41 m para resfriamento primário e 19 m para o resfriamento secundário. Dados do (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017). Por estar localizada após a região de pós queima, a zona de resfriamento primário promove gases de processo de altas temperaturas (Aproximadamente 1.000°C), enquanto na zona de resfriamento secundário os gases da câmara goram em torno de 315°C. Dados do (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017).

As pelotas quentes são cuidadosamente resfriadas para uma temperatura desejada de cerca de 100 - 120°C, para proteção dos transportadores de correia posteriores na área de peneiramento. Na (Figura 22), é mostrado uma vista macro do processo de queima e suas devidas etapas que foram listadas acima.

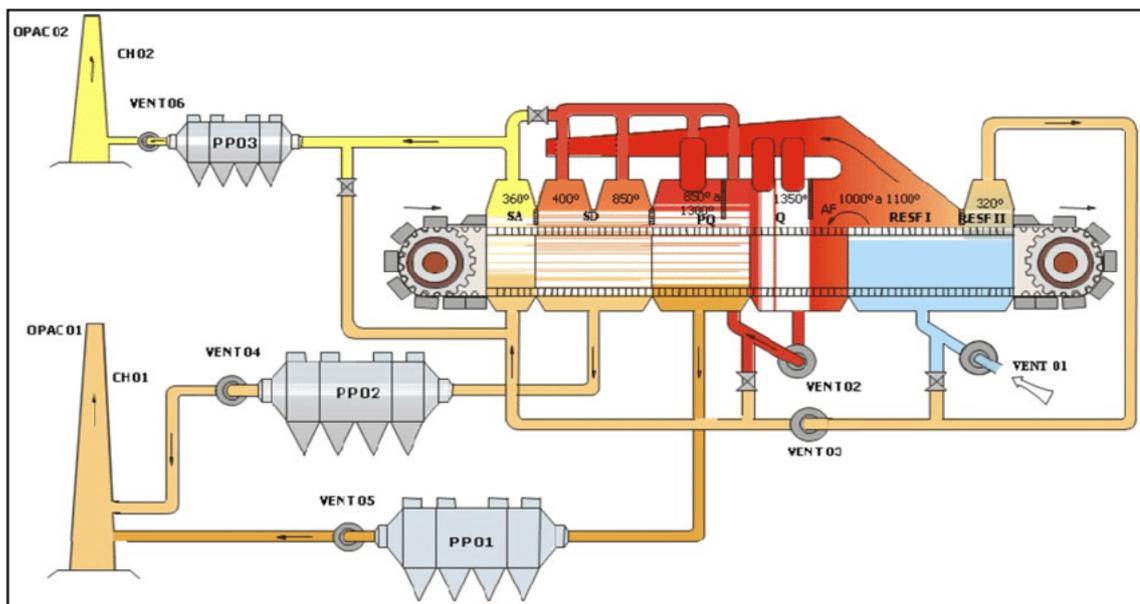


Figura 22. Fluxograma simplificado do processo de queima.

Fonte: (Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017).

5.20 6º Ponto de formação de material particulado

Nesta etapa de formação das pelotas, adentra ao processo um novo equipamento de despoeiramento, os Precipitadores Eletrostáticos, instalado externamente a região do forno e ligados por tubulações, onde através de ventiladores de processos industriais se tem a sucção dos gases gerados e posteriormente o envio aos precipitadores, onde são feitas as devidas atividades de eliminação de resíduos e gases danosos, que serão processados e por fim serão liberados pela chaminé em forma de gases já límpidos. A (Figura 23) se tem uma representação do precipitador eletrostático.



Figura 23. Precipitador Eletrostático e Chaminé de Processo.

Para o controle por meio do Precipitador Eletrostático, tem-se os seguintes dados, de acordo com o (Manual do Sistema de Gestão da Qualidade da empresa, 2017) e faz uma relação aos ventiladores de processo e chaminé de liberação dos gases, conforme (Tabela 3).

Ventilador de Processo: Ventilador de exaustão usado para transportar os gases de processo provenientes das caixas de vento através do Precipitador Eletrostático e finalmente para chaminé, características:

Tabela 3. Característica do ventilador de exaustão.

Fonte: Adaptado, Manual do Sistema de Gestão e Qualidade da empresa, 2017.

	MÍNIMA	NOMINAL	MÁXIMA
Vazão volumétrica (m ³ /min)	10.604	12.195	14.024
Pressão de entrada (mbar)	977,2	967,1	953,5
Diferencial de pressão (Mbar)	33,1	46,9	60,8
Velocidade de operação (min ⁻¹)	368	436	501

Temperatura de Entrada: 189° C.

Chaminé: A chaminé é usada para liberação de ar limpo para a atmosfera, tendo as seguintes características, de acordo com o (Manual do Sistema de Gestão da Qualidade da empresa, 2017).

- Vazão volumétrica: 30.805 m³/h (NTP);
- Temperatura de operação: 152°C;
- Diâmetro interno: 8.000 mm;
- Altura: 49,55 m.

Para a etapa de endurecimento das pelotas no forno, outro sistema de despoeiramento que pode ser usado é o sistema de “Lavador de gás”, que também é implantado do lado externo ao prédio da queima conforme mostra a (Figura 24). Ambos os equipamentos e processos são utilizados pela empresa mineradora, e mostra a preocupação que a mesma tem em eliminar materiais particulados que são prejudiciais ao meio ambiente e a saúde humana em seus processos. A etapa do forno gera uma grande quantidade de gases provenientes da queima das pelotas, os mesmos devem ser dispersos.



Figura 24. Lavador de Gás 01.

O sistema de despoejamento utilizado é o lavador de gás do tipo Venturi. No prédio da queima, funciona na entrada do processo, onde se tem a queda de pelotas nas peneiras. A tubulações fazem a captação do material em pontos estratégicos, o material particulado é processado no lavador de gás que fica externo ao prédio, conforme (Figura 25).



Figura 25. Tubulação de captação de material particulado na entrada do forno.

Como tratado anteriormente, um dos pontos de captação do lavador de gás é devido ao choque entre as pelotas e queda do material no início do forno, na imagem a seguir pode-se verificar o ponto de chegada das pelotas no forno para geração de particulado.



Figura 26. Início da queima e formação de particulado.

Neste estágio, a empresa projetou um ponto de captação de particulado, para facilitar a sucção dos mesmos pelo lavador de gás, este ponto pode ser verificado na (Figura 27). A tubulação do lavador é posicionada no ponto de captação de particulado, nota-se que nessa área há uma grande quantidade de pelotas ainda cruas.



Figura 27. Ponto de captação de particulado na entrada do forno.

O processo do forno, a geração de partículas também acontece no forramento do carro de grelha, ou seja, o chute de descarga preenche o mesmo com pelotas verdes para se dar início a etapa do forno. Nas imagens a seguir, se tem a preparação dos carros de grelha para

recebimento da camada de forramento com pelotas queimadas, nesta etapa se tem pontos de formação de material particulado.



Figura 28 (a). Preparação do carro de grelha para receber a camada de forramento.



Figura 28 (b). Giro do carro grelha no forno.

Ao final do processo de queima pelo forno, os carros de grelha despejam as pelotas já endurecidas no transportador de correia para se dar início a etapa do peneiramento, nesta etapa se tem elevadas concentrações de material particulado que são supridos pelo “Lavador de Gás 02 e 03”, estes se encontram no final do processo da queima e tem seus pontos de captação na saída do forno e próximo ao chute do transportadores de recebimento das pelotas endurecidas.



Figura 29. Lavador de Gás 02.

A tubulação de captação de material particulado para este lavador pode ser vista na (Figura 30a). Esta tubulação é responsável por fazer a captação as altas taxas de material particulado que se encontra neste ponto e a sua derivação para adentrar ao lavador de gás 02 e 03 pode ser vista na (Figura 30b).



Figura 30 (a). Tubulação de captação da saída do forno.



Figura 30 (b). Derivação de captação para o lavador de gás.

A (Figura 31) mostra a localização exata e estratégica do “Lavador de gás 02” na saída do forno e início do peneiramento, a fim de fazer a supressão dos pontos levantados nos textos anteriores.



Figura 31. Posição estratégica do Lavador de Gás.

Com o objetivo de se ter uma dimensão da quantidade de material particulado que está sendo gerado no processo de saída do forno para início do peneiramento, a (Figura 32) mostra como seria o processo caso não tivesse o lavador de gás naquela posição, note a quantidade de material particulado que é gerado pelo processo.



Figura 32. Material particulado gerado sem o uso do Lavador.

5.21 Peneiramento

A área do peneiramento, as pelotas queimadas resultantes do processo de queima no forno são peneiradas em 2 peneiras vibratórias. Estas tem como principal objetivo, a classificação levando em consideração variáveis como: Tamanhos especificados, para embarque a camada de forramento, retirado do processo finos indesejados.

Sensores de temperatura são montados sobre cada transportador que recebe as pelotas queimadas, afim de detectar pelotas com altas temperaturas, pois os mesmos são projetados para resistirem até 400°C, por um período de tempo. No caso em que pelotas muito quentes forem descarregadas na grelha, os *sprays* de água são ativados automaticamente afim de esfriar as pelotas, todo este último processo sendo completamente automatizado.

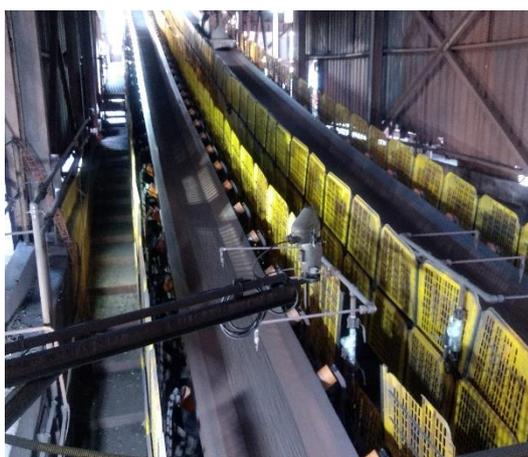


Figura 33. Transporte de pelota na saída do forno em direção ao peneiramento.

Na etapa de peneiramento se encontra as pilhas de emergência, as pelotas são transportadas por dois transportadores de correias e retomadas para o circuito através de pás mecânicas que descarrega no silo do pátio do peneiramento, que posteriormente descarrega no próximo transportador de correia para serem peneiradas. As pilhas de pelotas de emergência possuem um autonomia e mandam pelotas para o processo caso tenha alguma parada inesperada da usina ou caso necessite se fazer algum tipo de manutenção no sistema, o pátio de emergência pode ser visto na (Figura 34).



Figura 34. Pátio de emergência de Pelotas.

5.22 7º Ponto de formação de material particulado

Na etapa de peneiramento, se tem a utilização de lavadores de gás e de um sistema de aspersão de água, visando o combate aos materiais particulados que estão em suspensão. Os materiais particulados desta etapa, são provenientes da queda de matéria entres os chutes e do choque entre as pelotas, e ainda tem-se o pátio de emergência que por sua formação de pilhas de pelotas gera altos valores de particulado em suspensão. Esta etapa do processo de Pelotização, é uma das etapas que mais gera particulado, por isso a utilização de equipamentos eficazes na supressão de partículas é essencial. A figura a seguir mostra o material particulado sempre produzido na queda de material do chute para o transportador de correia no peneiramento.



Figura 35. Geração de material particulado na descarga do chute.

O sistema para combate a material particulado nesta etapa do processo é feita pelo “Lavador de Gás 4”, que fica localizado na entrada do peneiramento. Além do sistema de ventilação que utiliza jatos de águas constantes para reduzir a quantidade de particulado gerado no processo.



Figura 36. Lavador de Gás 4.

Um outro ponto de captação de material particulado que pode acontecer na área do peneiramento é vista na região das peneiras vibratórias, onde na queda de material do chute para as mesmas, gera uma alta quantidade de partículas em suspensão.



Figura 37 (a). Material particulado no fundo peneira.



Figura 37 (b). Material particulado na lateral da peneira.

Um outro ponto de formação de material particulado que pode ser observado na área do peneiramento, é encontrado na saída do processo, ou seja, a união de peneiras vibratórias, material na descarga do chute e particulados provenientes do pátio de emergência acabam por produzir grandes quantidades de particulado.



Figura 38. Material particulado gerado na saída do peneiramento.

Nesta etapa irá se fazer uma análise com objetivo de verificar a quantidade de material particulado que é emitido, quando o Lavador de gás não está em funcionamento. Um ventilador que libera jatos de água constantes é usado quando o lavador de gás passa por manutenção preventiva, afim de minimizar a quantidade particulados gerados pelo processo, porém, o

mesmo não consegue suprir as necessidades da operação. Na (Figura 39), demonstra a ineficiência do ventilador e o quanto o lavador de gás é importante para o processo.



Figura 39. Ventilador com jatos d'água usados no processo.

5.23 Empilhamento de Pelotas

Em usinas de Pelotização é sempre necessário a formação de estoques de matéria prima ou de um produto acabado, pelas seguintes razões:

- Formação de reservas técnicas;
- Obtenção de pilhas;
- Aguardar o embarque;
- Homogeneização do material que adentra uma determinada unidade, evitando flutuações das características de alimentação e consequentemente perdas de controle de processo.



Figura 40. Pátio A, estocagem de pelotas.

Chegando a final de todos os processos explicitados acima na usina de Pelotização, será feito o envio das pelotas para os clientes, a logística é feita por meio de navios, não sendo necessário nenhum processo por meio de embalagens ou outros.

5.24 8º Ponto de formação de material particulado

Nesta etapa não há formação de material particulado, uma vez que antes de chegar nos pátios, as pelotas formadas e endurecidas recebem um banho com solução de “Glicerina” fazendo a supressão completa do particulado. Logo o que antes se tinha um desprendimento de material particulado no caminho da correia transportadora até o pátio de estocagem, hoje se tem um supressor de partículas eficiente.

6 EQUIPAMENTOS DE CONTROLE USADOS NA USINA DE PELOTIZAÇÃO

A usina de pelotização possui equipamentos de controle ambiental a mesma conta com a mais moderna tecnologia e um parque de equipamentos mais adequado ao processamento dos minérios da região, portanto pronto a responder com mais eficiência à política ambiental da empresa. (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017).

A usina conta com quatro lavadores para controle ambiental na região do forno e peneiramento e mais quatro para controle ambiental das transferências dos pátios. Já para tratamento dos gases do processo a usina conta com três Precipitadores eletrostáticos. Uma observação importante é que a usina por se ter uma posição geográfica estratégica, fazendo com que a predominância de ventos empurre a pouca poeira que é gerada para o mar e a sua distância da cidade é maior. (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017).

6.1 Descrição do processo de controle ambiental

A função básica dos equipamentos de controle ambiental, (coletores de pó), consiste em coletar partículas sólidas em suspensão (poeira) gerada nos silos de insumos, no chute de descarga do forno, nos chutes de transferência de transportadores de correia, nas peneiras classificatórias e na exaustão da caixa de vento do forno.

Estes equipamentos são fundamentais na proteção ao meio ambiente, evitando que particulados gerados no processo sejam lançados na atmosfera. Na Usina de Pelotização se tem instalados 36 equipamentos e que estão agrupados da seguinte maneira: (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017).

- 03 Precipitadores Eletrostáticos;
- 09 Lavadores de Gases;
- 24 Filtros de Mangas/Cartuchos

Os coletores de pó estão agrupados em dois tipos distintos:

Coletores por via úmida:

Lavador de Gases: O lavador de gases é um equipamento especialmente projetado e dimensionado para executar a limpeza dos gases carregados de particulados sólidos e opera através do princípio de impactação mecânica entre as gotículas do líquido de lavagem e o material particulado contido nos gases. O material que é retido é coletado em forma de polpa e o ar limpo é despejado na atmosfera

Coletores por via seca:

Filtros de Manga: Os filtros de manga consistem em uma carcaça, contendo mangas filtrantes que ficam suspensas dentro da unidade. O ar carregado de pó é circulado através das mangas filtrantes, onde fica depositada uma capa de pó. O ar limpo passa pelos interstícios do meio filtrante. A capa de pó é periodicamente removida usando jato de ar comprimido.

Precipitadores Eletrostáticos: Neste tipo de coletor, os gases carregados de pó passam por um campo elétrico onde o gás é ionizado ao receber elétrons livres emitidos por eletrodos de descarga (efeito corona). Os íons carregam as partículas de pó negativamente. Estas partículas se deslocam e se depositam sobre placas coletoras conectadas a terra. O material particulado acumulado é removido por batimento nestas placas.

A empresa usa diversos equipamentos de controle ambiental, sempre procurando atender as normas ambientais, estar buscando a melhoria contínua em seus processos e suprir as necessidades de produção. Dentre os vários tipos de equipamentos usados pela empresa mineradora, neste tópico irá se desenvolver de forma simplificada os principais juntamente com seus princípios de funcionamento com objetivo de estar adentrando ao propósito fundamental desta pesquisa.

Para composição deste item foi usado como linha de pesquisa os equipamentos que são usados na usina de pelletização e em locais onde há geração de material particulado. As fotos e as explicações se remetem a este espaço de pesquisa e dão embasamento para composição dos itens que serão estudando a seguir, como o sistema de glicerina e os resultados obtidos pela pesquisa. Os sistemas que serão descritos em sua grande maioria utiliza “água” para fazer a aspersão, porém a água que é utilizada é água de reuso ou de processo que está sendo

reaproveitada. A empresa investe em bacias para reutilizar a água em seus processos e garantir a eficiência ambiental em seus processos.

6.2 Lavadores de Gás do Forno e Peneiramento

Uma importante observação que deve ser levada em consideração, é que caso necessário se fazer um comparativo, os “Lavadores de Gás do forno e peneiramento” podem ser comparados com os “Precipitadores Eletrostáticos”, enquanto que os “Lavadores de Gás do pátio e casa de transferência” irá ser comparado com o sistema de “Glicerina”, este último é o objetivo deste trabalho.

Existem três áreas principais de geração de pó, sendo uma na entrada do forno, outra na saída do forno e em seguida no peneiramento do produto. Se tem, portanto três sistemas independentes de despoeiramento. Um lavador para entrada do forno e outro lavador para estação de peneiramento. Devido ao alto fluxo de pó contido na descarga do forno dois lavadores foram projetados para atender esta área.

A solução adotada consistem em enclausurar os pontos onde ocorre a geração de material particulado de modo a deixar a menor área aberta possível e através do estabelecimento de uma pressão levemente negativa nestas regiões propiciar que o ar externo entre pelas aberturas existentes impedindo que o material particulado saia para atmosfera. Uma vez captado pelo fluxo de ar externo, os materiais particulados são transportados para o lavador, onde ocorre a separação do material particulado do fluxo gasoso. A pressão negativa necessária para o estabelecimento do fluxo de ar externo é formado por um ventilador centrífugo, localizado após o lavador de gases.

Os gases de exaustão da área da alimentação, descarga do forno, peneiramento e transferência deverão ser conduzidos através da rede de dutos devidamente balanceados obedecendo os intertravamentos da usina para operação para a operação normal e de emergência da planta até a entrada do lavador venturi de alta energia. No venturi de garganta variável com o ajuste do obturador, variando a seção transversal de passagem, obtém-se as condições de operação do lavador, área onde ocorre o impacto da massa de pó contida nos gases

com as gotículas do líquido de lavagem fornecido pelos bicos de sprays, este material particulado adquire uma massa maior possibilitando uma primeira impactação dos gases no colchão de água no fundo do venturi, isso permite a retenção do material particulado de maior massa. Os gases são encaminhados em seguida para o separador ciclônico, onde o material particulado é separado. Os gases limpos são direcionados pelo ventilador centrífugo para as chaminés e assim liberados para atmosfera. Os tanques de purga e selagem recebem a polpa resultante do processo de lavagem dos gases através da descarga do separador ciclônico. Dos tanques a polpa é encaminhada para o espessador por meio de bombeamento. Outras bombas são responsáveis pela retirada da água do tanque de processo e encaminham para o lavador mantendo a pressão necessária para manter o spray de água.

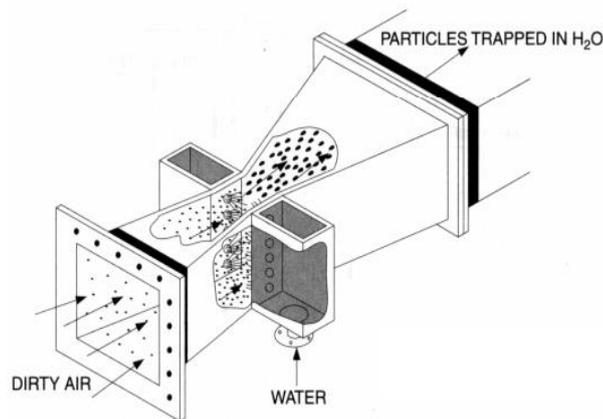


Figura 41. Lavador tipo Venturi.

Fonte: (Reis Jr, Neyval, 2005).

Os pontos de coleta de particulados pelos lavadores de gases são, de acordo com (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017):

- Adição da camada de forramento;
- Descarga da Grelha;
- Peneiramento de pelotas;
- Pontos de transferências de correias transportadoras de pelotas;
- Pátios de pelotas.

6.3 Precipitador Eletrostático

O precipitador eletrostático é um equipamento bastante utilizado na coleta de material particulado em diversos processos industriais. Atualmente, o precipitador eletrostático de placas paralelas é o mais utilizado. Um precipitador consiste fundamentalmente de eletrodos colocados na câmara do mesmo onde partículas sólidas encontradas nos gases de exaustão impuros são separadas por ionização induzida por um potente campo elétrico proveniente dos eletrodos.

A separação de partículas suspensas em uma corrente gasosa, pelo mecanismo da precipitação eletrostática, abrange três fases distintas, segundo (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017).

- Carregamento elétrico das partículas suspensas;
- A coleta da partícula carregadas em uma superfície (placas e coleta);
- A remoção das partículas coletadas.

Para se fazer a limpeza do gás, um dos diferenciais deste equipamento se submete a aproveitar forças de origem elétrica para se ter a remoção de partículas que estão presentes no gás.

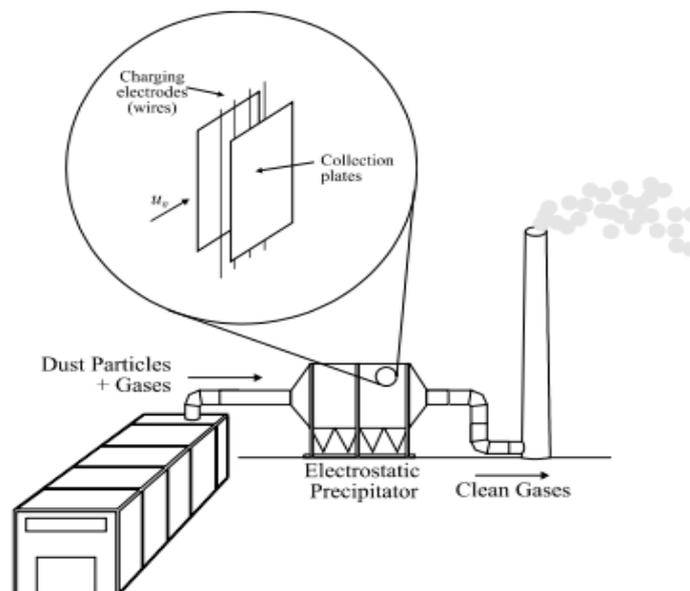


Figura 42. Demonstrativo do Precipitador Eletrostático.

Fonte: (Reis Jr, Neyval, 2005).

Quando o gás percorre condutores carregados com voltagens opostas acaba sendo ionizado. Cerca de 80 % das partículas em suspensão adquirem carga positiva, enquanto que 20% adquirem carga negativa.

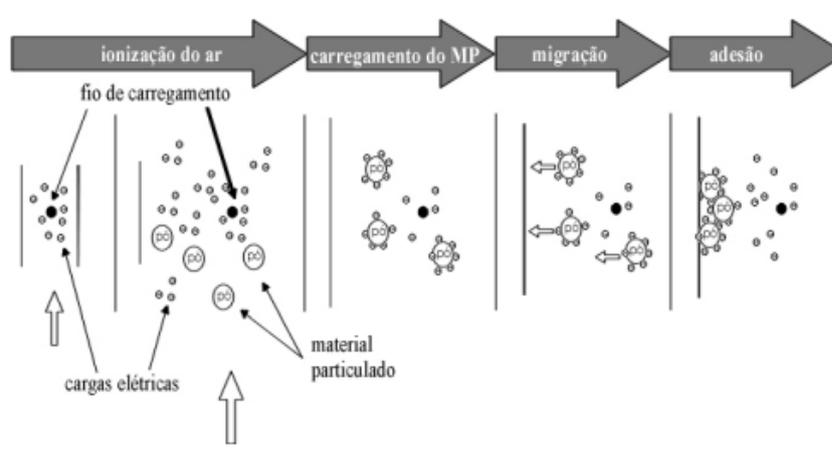


Figura 43. Etapas de remoção de particulados do Precipitador.

Fonte: (Reis Jr, Neyval, 2005).

(OLIVEIRA, André, 2014) explica o princípio de funcionamento. Após o material particulado ser ionizado, a força elétrica promove a movimentação das partículas carregadas para placa condutora de carga oposta que vai aderir as partículas, como é mostrado pela (Figura 45), posteriormente será aterrada. Emprega-se batedores para remoção das partículas fixadas a placa condutora aterrada que caem por tremoras, onde são removidas, conforme (Figura 44).

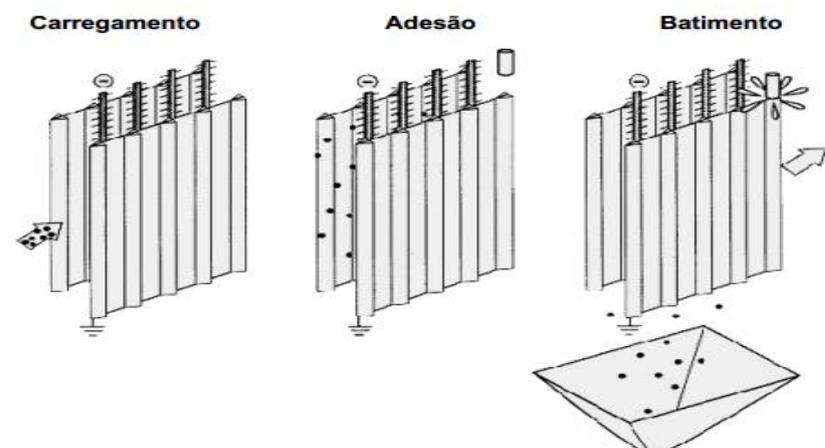


Figura 44. Etapas nas placas ionizantes.

Fonte: (Reis Jr, Neyval, 2005).

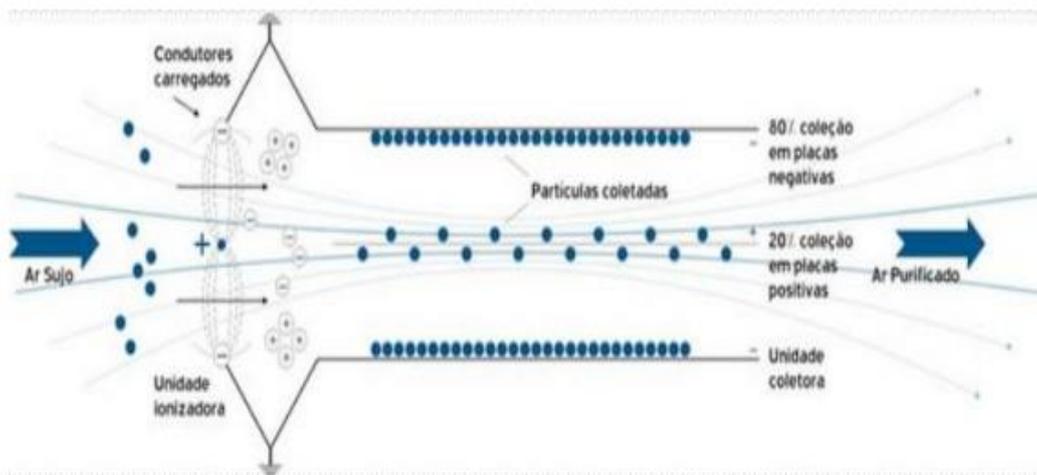


Figura 45. Esquema de funcionamento de Filtros eletrostáticos.

Fonte: (Enfil Catálogo, 2000).

A (Figura 46), mostra exemplos de geometria da placa de coleta e do eletrodo de carregamento.

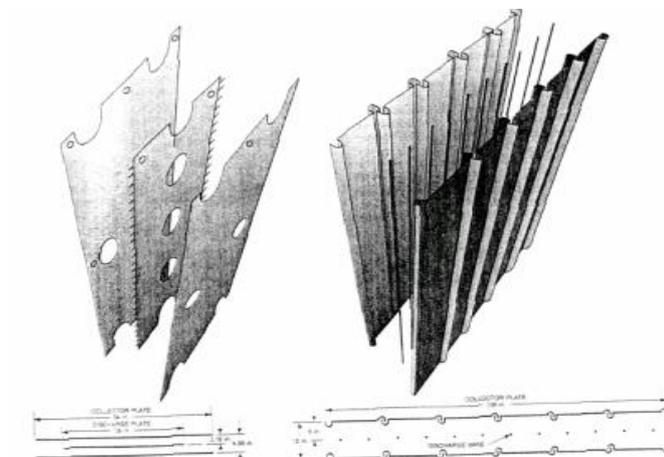


Figura 46. Geometria da placa de coleta e eletrodo de carregamento.

Fonte: (Reis Jr, Neyval, 2005).

O Precipitador eletrostático é responsável pela captação de material particulado dos seguintes pontos:

- Precipitador 01: Despoeirar o gás de processo proveniente das caixas de vento 11 a 16 do forno;
- Precipitador 02: Despoeirar o gás de processo provenientes das caixas de vento 4 a 10 do forno;
- Precipitador 03: Despoeirar o gás de processo proveniente da secagem ascendente (sobre as caixas de vento 1 a 3).



Figura 47. Mapeamento dos 3 Precipitadores no processo.

6.4 Filtros de Manga

É um equipamento composto por um conjunto de mangas filtrantes de tecido, esta possui um sistema de limpeza de mangas por meio de pulsos de ar comprimido, tudo feito de forma automática. Este tipo de equipamento é usado na separação de seco de partículas que estão carregadas na exaustão do ar ou de gases. Em alguns tipos de filtros os gases entram direto na carcaça do filtro e tem seu retorno ao silo, a carcaça apresenta telas na parte inferior para se ter o impedimento a caída de elementos filtrantes no interior do silo. (Tersel, Manual de Operação de Manutenção, 2005). Dentre as várias vantagens do filtro de manga existe:

- Elevada eficiência de filtragem;
- Consumo de energia baixa;
- Custo de investimento e manutenção baixo;
- Eficiência no sistema de limpeza;
- Facilidade para se acessar os serviços de trocas de manga;
- Sistema de construção compacto e robusta;
- Uma vida útil longa das mangas.

A empresa utiliza o tipo de amarrações metálicas em seus filtros de manga da área da “Moagem”, as conhecidas (Gaiolas), material este que levam as mangas e as posiciona no interior do filtro para o processo de filtragem dos particulados. Na (Figura 48), verifica-se uma foto das gaiolas, e na (Figura 49), verifica-se as mangas filtrantes.



Figura 48. Gaiolas do filtro de manga.



Figura 49. Mangas, elemento filtrante.

Fonte: (CORBARI, Engenharia de Controle Ambiental, 2019).

Na usina de Pelotização, os filtros de mangas são usados não apenas em silos de aditivos, mas fazem parte dos seguintes processos, de acordo com: (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017).

- Processo de moagem de insumos a seco, succionando os gases quentes com os insumos moídos e separando os gases do material moído;
- Despoeiramento em transferências de transportadores de correias na área de recebimento e manuseio de insumos. A operação é automática.



Figura 50 (a). Filtro de manga na área da Moagem de insumos.



Figura 50 (b). Filtro de manga usado no despoeiramento em transferência de transportadores.

6.5 Lavador de Pneus

Os pátios de minério recebem uma grande quantidade de veículos ao decorrer do dia, o material particulado podem vim a impregnar nos veículos e levar com eles partículas poluentes. Verificando esta situação e preocupado com a saúde e bem estar do meio ambiente e seus colaboradores, a empresa implantou uma ideia simples que faz uma grande diferença, são os lavadores de pneus, que são instalados em posições estratégicas, geralmente na saída dos pátios, evitando que a grande carga de material particulado que era levado pelos veículos se propagassem. Na (Figura 51), verifica-se um destes equipamentos instalados na saída do pátio de estocagem.



Figura 51. Lavador de Pneus.

6.6 Sistema de Aspersão das Correias Transportadoras

Outro sistema que é adotado pela empresa para garantir o combate de material particulado, está implantado nas correias transportadoras. Para as pelotas formadas existe a geração de material particulado na caída entre os chutes das casas de transferência e pelo choque entre as pelotas. Com objetivo de se ter uma proteção à mais, foi implantado o sistema de aspersão das correias transportadoras.



Figura 52. Sistema de Aspersão das Correias Transportadoras.

6.7 Wind Fence (Barreira de Vento)

É um dos equipamentos de controle ambiental utilizados no pátio de emergência de pelotas reduzindo a quantidade de poeira atmosférica geradas pela estocagem de pelotas. Na tradução é chamada de “Barreira de vento” no qual compreende estruturas metálicas posicionadas ao redor do pátio de emergência. *As telas podem chegar a 30 metros e suportar ventos de 120 km. O Wind Fence foram instalados como forma de conter partículas de minério, pelotas e carvão armazenadas nos pátios de estocagem que, com força dos ventos na região, tendem a espalhar pelo ar.* (Site Vale.com, 2014).

Na usina de Pelotização serão realizados tubos que variam de 2” e 3” a cada 2 metros, seguindo a disposição dos trilhos do muro de contenção. O sistema terá sua instalação ao redor do pátio de emergência. A barreira de vento terá uma altura de 6 metros, conforme as imagens ilustradas abaixo.



Figura 53. Pátio de emergência antes da instalação da barreira de vento.

Fonte: (Enclausuramento dos pátios de pelota, 2008).

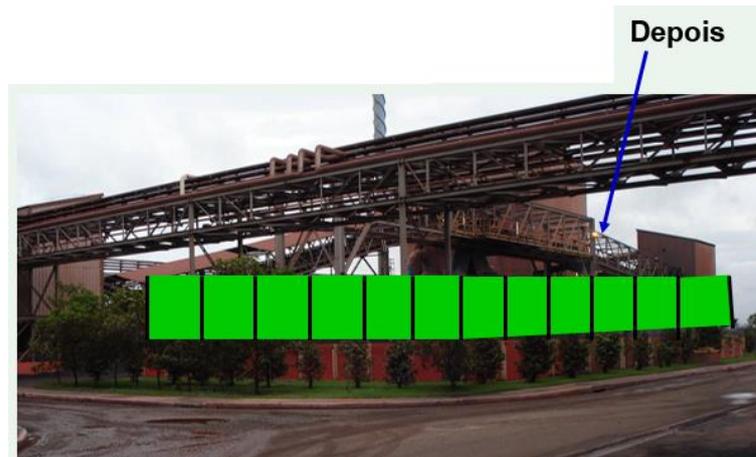


Figura 54. Pátio de emergência com a instalação da barreira de vento.

Fonte: (Enclausuramento dos pátios de pelota, 2008).

6.8 RAMP (Rede Automática de Monitoramento das Emissões Difusas de Partículas)

É outra ferramenta de otimização na gestão e controle das emissões de partículas para atmosfera e melhoria na qualidade do ar. Esta ferramenta consiste na instalação de torres que são posicionadas de forma estratégica, e tem a função de apresentar em termos numéricos a concentração de material particulado que está sendo emitido naquela região de implantação do equipamento. Segundo o (Site Vale.com, 2014), *“O sistema consiste em um conjunto formado por torres estrategicamente posicionadas capazes de quantificar a concentração de material particulado emitido simultaneamente em cinco alturas, além de medir a velocidade e direção do vento. O sistema gera e envia dados a cada 15 minutos, o que contribui para uma melhor gestão de emissões atmosféricas em partículas geradas”*.

6.9 Umectação de vias de reaproveitamento de água

Outro controle que visa reduzir a emissão de material particulado nas vias já que se está falando de um parque industrial de recebimento, estocagem e embarque de minério, é a umectação de vias, onde se tem particulado formado de processos industriais, logo se faz a utilização de caminhões com água de reuso para conter as emissões atmosféricas. Esse arraste ocorre pelo vento e também na grande quantidade de movimentação de veículos.



Figura 55. Umectação da via.

Fonte: (<http://www.contornodeflorianopolis.com.br/tag/manutencao-de-vias-de-acesso/>).

7 SUPRESSÃO DE MATERIAL PARTICULADO (LAVADOR DE GÁS E PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO)

O capítulo 5 foi realizado o levantamento/mapeamento dos pontos de formação de material particulado na usina, e os principais equipamentos usados pela empresa para se fazer a supressão e controle desses materiais. Dentre os equipamentos usados para controle de particulados nos pontos estudados, destacam-se os lavadores de gás do forno e peneiramento e os precipitadores, que também são conhecidos em muitas literaturas como filtros eletrostáticos. Este capítulo tem por objetivo, quantificar os resultados obtidos no mapeamento dos pontos de formação de particulado no capítulo 4 e descrever o quão é eficiente a tecnologia empregada pela empresa para supressão de materiais particulados em seus processos operacionais.

Na (Figura 56), demarca-se a localização destes equipamentos no processo, levando em consideração, a sua posição estratégica na usina de pelotização. Os lavadores de gás são enumerados de 1 a 4, sendo os três primeiros encontrados na entrada e saída do forno e o último (lavador 4), na entrada do processo de peneiramento. Os precipitadores possuem dutos que succionam os gases provenientes do processo de queima.



Figura 56. Disponibilidade dos Lavadores de gás do forno e peneiramento e Precipitadores.

Fonte: (Adaptado, Documento do escopo de retomada da pelotização, 2017).

Sendo: PP (Precipitador Eletrostático) e LG (Lavador de Gás).

7.1 Resultados dos Lavadores de Gás do Forno/Peneiramento

Para se fazer o controle ambiental da adição da camada de forramento (Conforme figura 28a), a descarga da grelha (figura 28b), peneira de pelotas (figura 37a), pontos de transferências de correias transportadoras (Figura 35), pátio de pelotas (figura 38), são feitas através dos lavadores de gás do forno e peneiramento e irão possuir os seguintes resultados de geração de particulado e supressão de pó. Conforme (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017):

LAVADOR DE GÁS 1/2/3/4:

Pontos de Captação:

- Lavador 1: Despoeirar os gases contaminados provenientes da área inicial do forno.
- Lavador 2 e 3: Despoeirar as regiões da descarga do forno e início do peneiramento.
- Lavador 4: Despoeirar a estação de peneiramento

Todos possuem as seguintes características das demais variáveis:

- Material Manuseado: Ar carregado de pó;
- Vazão volumétrica: Ar carregado de pó (86000 m³/h) e água (91,0 m³/h);
- Temperatura: < 60°;
- Pressão de entrada do Lavador: -15×10^{-3} kgf/cm²;
- Pressão dos bicos aspersores de água: 34×10^{-3} kgf/cm²;
- Conteúdo de pó: Gás contaminado (< 10000 mg/m³) e gás limpo (< 70 mg/m³).

7.2 Resultados dos Precipitadores Eletrostáticos

Para o sistema de supressão por precipitador eletrostático, conforme (Figura 23), os pontos de captação dos mesmos e a quantidade de material particulado do processo são: Conforme (Equipamentos de controle ambiental da empresa, 2017):

PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO 1

- Pontos de captação: Despoeirar o gás de processo provenientes das caixas de vento 11 a 16;
- Material manuseado: Gás de processo;
- Vazão volumétrica: 14024 m³/min;
- Temperatura: 189°C;
- Conteúdo de Pó: Gás contaminado (< 1500 mg/m³, seco) e gás limpo (< 70 mg/m³);
- Conteúdo de SO_x: SO₂ (< 1500 mg/m³) e SO₃ (< 100 mg/m³).

PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO 2

- Pontos de captação: Despoeirar o gás de processo provenientes das caixas de vento 4 a 10;
- Material manuseado: Gás de processo;
- Vazão volumétrica: 16781 m³/min;
- Temperatura: 121°C;
- Conteúdo de Pó: Gás contaminado (< 1500 mg/m³, seco) e gás limpo (< 70 mg/m³);
- Conteúdo de SO_x: SO₂ (< 1500 mg/m³) e SO₃ (< 100 mg/m³).

PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO 3

- Pontos de captação: Despoeirar o gás de processo provenientes das secagem ascendente (sobre as caixas de vento 1 a 3);

- Material manuseado: Gás de processo;
- Vazão volumétrica: 8520 m³/min;
- Temperatura: 93°C;
- Conteúdo de Pó: Gás contaminado (< 1500 mg/m³, seco) e gás limpo (< 70 mg/m³);
- Conteúdo de SO_x: SO₂ (< 1500 mg/m³) e SO₃ (< 100 mg/m³).

8 SISTEMA DE GLICERINA

Como um dos assuntos de relevância no trabalho em questão se trata de controle ambiental nos setores industriais, o termo “fontes alternativas de energia” é bem apropriado, e é um tema bastante comentado, divulgado e praticado nos dias atuais, e que vem contribuindo de forma eficiente para redução de gases gerados pela utilização de derivados de petróleo nos processos. Para se ter uma redução da poluição, o uso de biocombustíveis é uma excelente opção quando se busca mitigar tais poluições. O Biodiesel, uma mistura combustível proveniente da reação de transesterificação de óleos vegetais ou gordura animal na presença de um catalisador em meio alcoólico, originando alquil ésteres derivados de ácidos graxos e o glicerol como coproduto (LÔBO; FERREIRA, 2009; RAMOS et al., 2009; FERTILIZADO et al., 2006), que foi introduzido na matriz energética brasileira em 2005 através da Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005. (Revista Brasileira de Energias Renováveis, 2016).

O Brasil tem grande destaque no panorama mundial do biodiesel, devido sua alta diversidade em dezenas de espécies vegetais que podem ser usadas na produção deste biocombustível, entre eles a soja, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona e pinhão-manso, de onde é extraído o óleo vegetal, e sua extensa criação de animais bovinos que fornecem gordura animal. (Revista Brasileira de Energias Renováveis, 2016). Diretamente proporcional a grande produção de biodiesel, cresce a oferta de glicerol ou também chamada de glicerina no mercado brasileiro.

Segundo (Parente, 2003) e (Knothe, 2006), o biodiesel pode ter sua produção por diferentes matérias primas, são elas:

- Óleos vegetais: soja, dendê, mamona, babaçu, algodão, girassol, e outros;
- Gordura Animal: sebo, óleos de peixe, animais bovinos e outros;
- Óleos e gorduras residuais: graxas de esgoto, resíduos de frituras de alimentos.

O glicerol, é o principal coproduto gerado na produção de biodiesel, sendo que aproximadamente 10% do volume total de biodiesel produzido corresponde ao glicerol (DASARI et al., 2005). Este coproduto, também chamado de glicerina, na forma pura possui inúmeras aplicações industriais, como por exemplo em aditivos para indústria de cosméticos, de medicamentos, de alimentos e indústrias químicas em geral (VASCONCELOS, 2012). Em

2014 o Brasil teve uma exportação de 211 mil toneladas, tendo a China como um dos maiores destinos de exportação, ou seja, em torno de 80% do total (EPE, 2015).

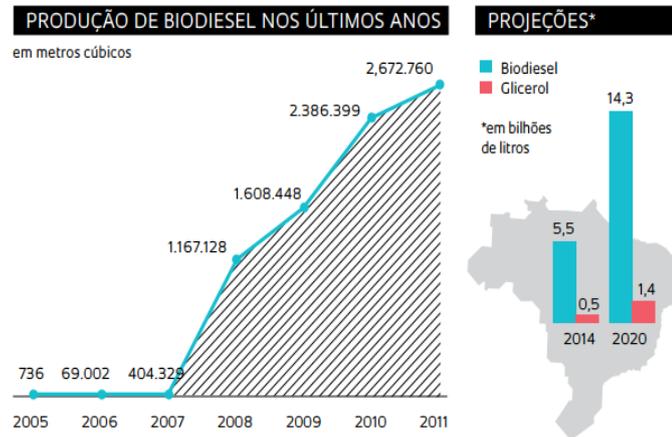


Figura 57. Produção/Projeção de biodiesel e glicerol.

Fonte: (Vasconcelos, Yuri, Revista de Pesquisa FAPESP, 2012).

8.1 A glicerina e o biodiesel

O Brasil possui um grande diferencial quando o assunto é “biodiesel frente ao mercado mundial, isto ocorre devido sua grande diversidade em relação a utilização de espécies vegetais e gordura animal que podem ser usadas na sua produção, conforme (Figura 58) da (ANP, 2016).

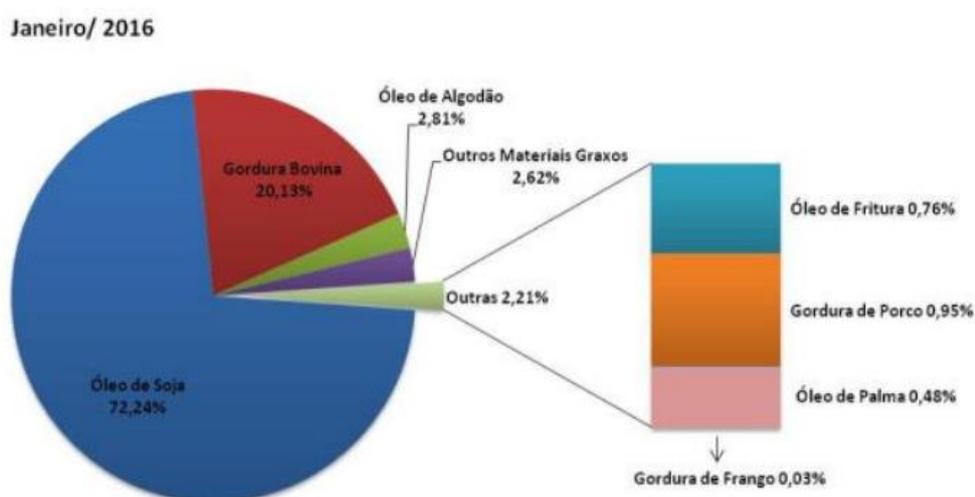


Figura 58. Matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel - Janeiro de 2016 (%).

Fonte: (Revista Brasileira de Energias Renováveis, 2016).

No ano de 2013, a indústria brasileira de biodiesel gerou cerca de 350 mil toneladas de glicerina bruta (SCHWENGBER et al., 2016), porém o mercado brasileiro é capaz de absorver apenas 40 mil toneladas por ano (ABIQUIM, 2008). É neste novo cenário que o comércio de biodiesel se torna viável ao passar pelo consumo de uma quantidade extra da glicerina, com objetivo de se alcançar novas aplicações e gerando mais valores para a cadeia produtiva do componente.

Como descrito anteriormente, a obtenção de biodiesel é feito por processo de transesterificação. Após esta etapa, os resultados obtidos se concentram em uma massa final, que é composta por duas fases:

- Fase pesada: Possui em sua composição a glicerina na forma bruta, elevados níveis de álcool, água e de impurezas que são totalmente inerentes a matéria prima; (Pinheiro, Rafael, 2011)
- Fase Leve: Possui em sua composição uma série de ésteres (biodiesel), e elevados teores de álcool e impurezas (CHING e RODRIGUES, 2007).

Abaixo mostra-se o fluxograma do processo de produção, que consiste na dos seguintes elementos em um reator: 87% de óleo e/ou sebo; 12% de álcool – podendo ser metílico ou etílico, porém, o primeiro é mais usado por suas características no processo – e de 1% de catalisador (NaOH ou KOH) (CHING e RODRIGUES, 2007).

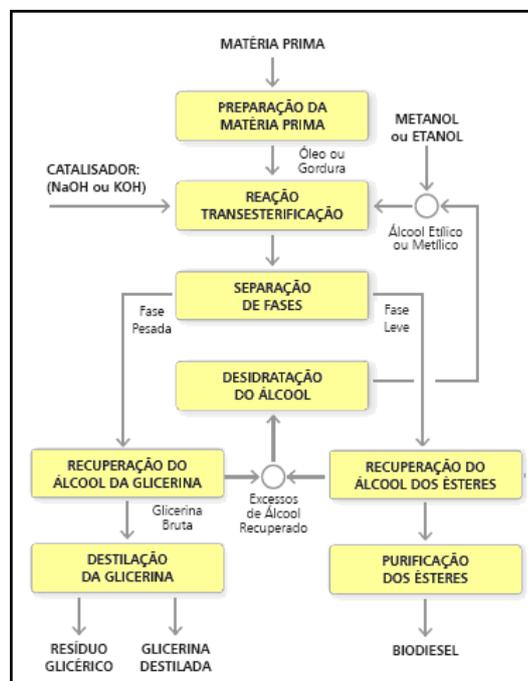


Figura 59. Fluxograma do processo produtivo do biodiesel.

Fonte: (PARENTE, 2003).

O termo “Glicerol” é líquido, não possui cheiro, possui densidade maior que a água e tem em sua característica uma elevada viscosidade (BEATRIZ et al., 2010; UMPIERRE e MACHADO, 2013). Já o termo “Glicerina” pode ser aplicada a produtos purificados comercialmente, onde se tem a presença de 95% de glicerol (KNOTHE et al., 2006; PACHAURI e HE, 2006). A Glicerina possui várias designações e níveis que podem ser

encontradas na forma comercial, estas possui diferenças em sua composição de glicerol e em algumas outras variáveis que são elas: o odor, a cor de cada tipo produto e o grau de impureza em que se encontra.

A (BIODIESELBR, 2008), lista e define quais são os tipos de glicerinas que podem vir a ser obtidas, são elas:

- Bruta: Contém em sua composição uma grande quantidade de catalisador advindo da transesterificação, muito etanol, água, ácido graxos e sabões);
- Loira: É obtida após o tratamento ácido, seguindo de remoção de ácidos graxos, possui uma concentração de 75 a 85% de glicerol, o percentual restante é composto de sais, água e de traços de etanol;
- Grau Farmacêutico: Se trata da glicerina loira após passar por processos e ser bidestilada a vácuo e ser tratada como absorventes, esta apresenta um grau de pureza mais elevado, por volta dos 99%.
- Grau Alimentício: Este tipo de glicerina é em sua totalidade livre de etanol, seu processo de produção é advindo da hidrólise de óleos/gorduras.

8.2 Glicerina na Mineração

A glicerina propiciou a criação de novos subprodutos que vão desde a aplicação em vários setores entre eles (farmacêutico, alimentícia, têxtil, tecidos e outros). Porém o tema que está sendo abordado é o controle ambiental, ou seja, a melhoria em termos de sustentabilidade, para isso é necessário fazer a conversão do glicerol em produtos de elevado valor econômico.

A base de estudo deste trabalho visa aplicação da glicerina como supressão de material particulado, porém, um dos questionamentos que é debatido sobre o uso da glicerina é, (O que fazer com o glicerol que sobra, onde em uma proporção de cada tonelada de biodiesel produzida, 10% é de glicerol?). Uma das aplicações que vem sendo estudada por centros de pesquisas e parceria universidades empresas, é a transformação em um produto de elevado valor agregado. Uma das pesquisas utiliza o glicerol para uso na supressão de pó. Foi produzido um líquido que pulveriza sobre regiões onde se tem um elevado desprendimento de material particulado gerado pelo minério de ferro e pelotas. Com esta nova tecnologia empregada, se tem as seguintes vantagens:

- Evita o desprendimento de material particulado para atmosfera por meios naturais (vento e chuva);
- Evita perdas econômicas, danos ao meio ambiente e principalmente danos à saúde dos seus colaboradores que trabalham em atividades onde tem acúmulo de minério e geração de particulado;
- Evita prejuízos para saúde de moradores de regiões localizadas nas proximidades da empresa mineradora.
- Cria uma proteção no material que é pulverizado, mesmo quando encontrado em baixas concentrações.

O produto tem por objetivo a formação de uma camada “película protetora” e totalmente resistente sobre as pelotas, mesmo quando é encontrado em baixas concentrações, o que não vem a ocorrer em outros equipamentos ou matérias supressores de pó.

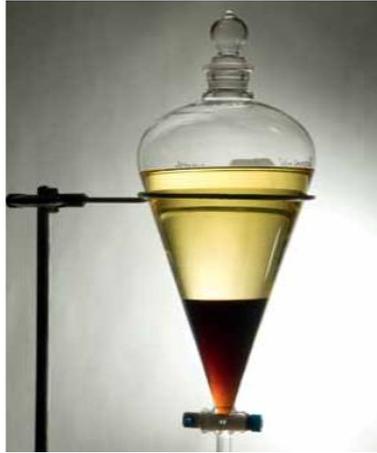


Figura 60. Amostra de biodiesel em amarelo claro e glicerol mais denso na parte inferior.

Fonte: (Cesar, Eduardo, 2012).

9 SISTEMA DE GLICERINA X LAVADOR DE GÁS DO PÁTIO

Neste item irá se demonstrar: o processo de montagem, componentes utilizados, especificações, pontos de captação de particulado e o passo a passo das etapas de supressão de material particulado, que serão usados tanto pelo sistema de Glicerina quanto pelo lavador de gás do pátio/casa de transferência.

A metodologia aplicada para explicar as variáveis descritas acima, além de documentos técnicos, foram realizadas visitas em áreas visando fazer o mapeamento dos pontos de formação de material particulado dos dois equipamentos estudados, além de analisar os fenômenos que estão envolvidos no processo de supressão de particulado. Este item fornece embasamento para se entender os resultados que serão vistos nos capítulos posteriores, além das melhorias, vantagens e desvantagens aplicadas no sistema.

9.1 Lavadores De Gás Do Pátio/Casa De Transferência

Pode-se conceituar um sistema de despoeiramento como sendo o processo de captação, transporte e de separação de materiais particulados que são gerados na casa de transferência da usina. A solução adotada para este processo tem como objetivo o enclausuramento dos pontos onde vem a ocorrer a geração de material particulado, de modo que se tenha uma menor área aberta possível, e estabelecendo uma pressão de forma negativa nas regiões pré estabelecidas. Esta pressão e as menores áreas abertas possíveis faz com que o ar externo entre por essas aberturas existentes e desta forma impeça que o material particulado saia para atmosfera.

Uma vez feita a captação pelo fluxo de ar externo, os materiais particulados são transportados através de dutos que são balanceados por placas de orifícios para o lavador de gás, neste ponto do processo ocorre a separação do material particulado do fluxo de gás, que é então descarregado para atmosfera. O material particulado é levado ao sistema de lavador de gases, onde entram diretamente ao lavador venturi de alta energia. No venturi que possui garganta variável com obturador ajustável, varia a seção transversal de passagem, obtém-se

velocidades dos gases carregados de material particulado e conseqüentemente variando a perda de carga nesta área. Área onde vem a ocorrer o impacto das gotículas do líquido de lavagem com material particulado contido nos gases, acrescentando água pulverizada pelos bicos sprays, o material particulado adquire uma maior massa que possibilita uma primeira impactação do colchão de água no fundo do venturi, sendo que os gases em seguida são encaminhados para o separador ciclônico onde o material particulado com uma massa maior possibilitará sua remoção no separador ciclônico. Os gases limpos são direcionados para o ventilador centrífugo e chaminé e desta forma liberando os mesmos para a atmosfera. (Manual ANALYSIS, 2002).

9.1.1 Princípio de Funcionamento

O lavador de gás é de alta energia, do tipo venturi é um equipamento projetado e dimensionado para execução de limpeza de gases carregados de particulados sólidos e opera através do princípio da impactação mecânica entre as gotículas do líquido de lavagem com o material particulado contido nos gases. Este efeito é conseguido através da introdução do líquido de lavagem em alta pressão na região da garganta do venturi, através de bicos sprays. Também é na região da garganta do venturi onde, através da diminuição da seção transversal de passagem, que se obtêm as maiores velocidades dos gases carregados com material particulado.

Na região onde ocorre o “impacto das gotículas do líquido de lavagem com o material particulado contido nos gases, que desta forma, através do acréscimo de água, adquire uma massa maior e que possibilitará sua remoção no separador ciclônico, liberando assim os gases “limpos” para atmosfera. Este sistema de lavador de gases possui dispositivo que vem a possibilitar a regulação da abertura da passagem dos gases na garganta do venturi, através do acionamento de um obturador interno, acionado por um volante manual. Este tipo de recurso empregado se torna totalmente útil, uma vez que a eficiência deste equipamento é diretamente proporcional à energia que é consumida pelo processo de lavagem e que pode ser medida pela perda de carga da garganta do venturi. Assim sendo, através da movimentação do obturador interno e da conseqüente modificação da seção transversal para a passagem dos gases, pode-se ajustar a eficiência de coleta do lavador.

9.1.2 Detalhes do Processo

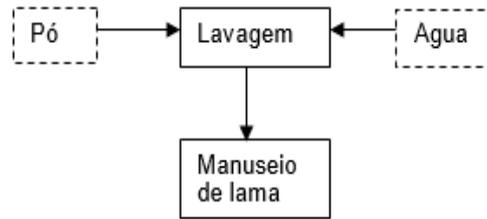


Figura 61. Visão macro do sistema de despoejamento.

Fonte: (Manual de operação e manutenção do sistema de despoejamento, 2002).

Acima é representado o sistema de coleta de pó, o mesmo possui divisões em subsistemas, ou seja, um sistema de lavagem e outro para manuseio de lama.

O pó que é coletado através das coifas, nos pontos de descarga, é succionado por um exaustor até o lavador de gás onde é injetada água recuperada pressurizada por meio de bombas. Do lavador de gás, a lama cai por gravidade em um pequeno tanque de passagem e é bombeada para o tanque da estação de coleta de pó, ou seja, a lama será bombeada para o espessador de lama. Do espessador a polpa é enviada para bacia de decantação onde a água recuperada é novamente bombeada para o circuito.

9.1.3 Etapas do processo do Lavador de Gás.

Formação de Material Particulado:

O material particulado que é formado no lavador de gás que está em estudo, é formado pelo pó de pelotas que já passaram por todas as etapas presentes na usina de pelletização e estão prontas para ser estocadas no pátio e posteriormente embarcadas. A formação do particulado acontece pela queda no chute entre transportadores de correia e pelo choque entre as pelotas.

Pontos de Captação:

O lavador de gás que está em estudo, possui 3 pontos de captação de material particulado, feito por meio de tubulações. O primeiro está situado no chute do transportador, na caída da pelota conforme mostra a (Figura 62) e posteriormente esse material particulado segue pela tubulação até o venturi conforme mostra a (Figura 63a e 63b). O segundo e o terceiro estão situados na entrada e saída do chute, ou seja, no derramamento da pelota no transportador de correias.



Figura 62. Primeiro ponto de captação de material particulado do lavador de gases.

Como citado acima, o material particulado que é succionado no primeiro ponto, é levado ao venturi pelo ponto de captação, conforme imagens abaixo.



Figura 63 (a). Descida do material succionado no primeiro ponto.



Figura 63 (b). Vista lateral do primeiro ponto de captação.

A pelota irá ser transferida de um transportador de correia para o outro, e na sua caída tem formação de material particulado que é suprido pelos pontos de captação 2 e 3, conforme mostra as imagens abaixo.



Figura 64. Segundo ponto de captação, na transferência de pelota entre transportadores.



Figura 65. Percurso do material particulado no segundo ponto de captação.

O terceiro ponto de captação de material particulado fica localizado ao lado do ponto de captação 2, ou seja, na transferência de pelota entre transportadores, como mostra na imagem abaixo.



Figura 66. Terceiro ponto de captação de material particulado.

Na imagem a seguir pode-se verificar a tubulação do ponto de captação 3 que leva o material particulado para início do processo de lavagem.



Figura 67. Caminho do material particulado para o terceiro ponto de captação.

O material particulado que é succionado nos três pontos se unem em uma só tubulação por meio de *Manifold* para se dar início a lavagem do gás, como mostra a figura abaixo.



Figura 68 (a). Encontro de material particulado, vista lateral.



Figura 68 (b). Encontro de material particulado, vista inferior.

Em resumo a imagem a seguir mostra uma versão estendida dos pontos de captação, buscando se ter uma visão macro do processo.



Figura 69. Vista macro dos pontos de captação de material particulado do Lavador de Gás.

Após a etapa de captação de material particulado, se tem o início do processo de lavagem de pó, todo particulado que é succionado antes de adentrar ao venturi, passa pela tubulação a seguir:



Figura 70 (a). Descida do material particulado para início da lavagem.



Figura 70 (b). Vista do início da lavagem.

O material particulado inicialmente passa pelo venturi de alta energia. Este venturi que possui garganta que vem a sofrer variações, varia a seção transversal de passagem, dando velocidade aos gases carregados de material particulado. Nas laterais da parede do venturi se encontram sprays que são responsáveis pela aspensão do sistema, transformando particulado em alta concentração em lama, como mostra as imagens abaixo.



Figura 71. Chegada do material particulado no lavador venturi.



Figura 72. Bicos Sprays para sistema de aspensão do venturi.

Após o sistema de lavagem com água de processo, o particulado se tornou uma polpa de lama e gás que é levado ao balão “separador ciclônico” para processamento, o material particulado como falado anteriormente, adquire uma maior massa que irá possibilitar a formação de polpa (lama) no fundo do venturi, sendo que os gases em seguida são encaminhados para o separador ciclônico onde o material particulado com uma massa maior possibilitará sua remoção no separador ciclônico. Neste processo, os gases limpos irão ser succionados pelo ventilador centrífugo posteriormente para a chaminé e desta forma liberando os mesmos para a atmosfera. Nas imagens abaixo, segue o passo a passo da descrição do processo:



Figura 73. Fenômenos de separação gás e lama.

Uma observação que deve ser levada em consideração no sistema de lavador de gases, é o dispositivo que possibilita a regulagem da abertura da passagem dos gases que passa através do venturi, através do acionamento de um obturador interno, acionado por um volante manual. Essa regulagem é feita conforme necessidade da operação e do processo. O dispositivo está ilustrado na (Figura 74), o mesmo se encontra localizado na parte inferior do venturi.



Figura 74. Dispositivo de regulagem para passagem dos gases no venturi.

Após a etapa de separação no “Separador ciclônico”, o ar limpo é succionado pelo ventilador centrífugo em direção a chaminé, enquanto que a lama gerada no processo, cai para uma descarga para o reservatório de lama, as imagens dos processos que estão sendo descritos se encontram abaixo. Este tanque de lama é do tipo retangular, de aço carbono e possui uma capacidade de 1,7 m. (Manual de operação e manutenção do sistema de despoeiramento, 2002).



Figura 75 (a). Descarga da lama gerada no processo.



Figura 75 (b). Tanque de lama.

Para o gás limpo o caminho é inverso, ou seja, em direção ao ventilador centrífugo e posteriormente para chaminé, como mostra as imagens abaixo.



Figura 76. Sucção do gás limpo pelo ventilador centrífugo.

Existem o conjunto de bombas que tem importantes funções no processo, dentre elas destaca-se as bombas que são responsáveis pelo sistema de aspersão do lavador tipo venturi de alta energia e as bombas que são responsáveis por succionar a lama que adveio do processo e se encontra no tanque de lama para ser processada no espessador.



Figura 77 (a). Bombas de água do lavador venturi.



Figura 77 (b). Bombas de sucção de lama para o espessador e tubulação.

Para finalizar o processo o gás limpo é lançado para atmosfera pela chaminé, enquanto que a lama que foi gerada irá passar pelo espessador e posteriormente por processo de decantação (separando líquido de sólido), ou seja, minério de água e ambos retornam ao processo.

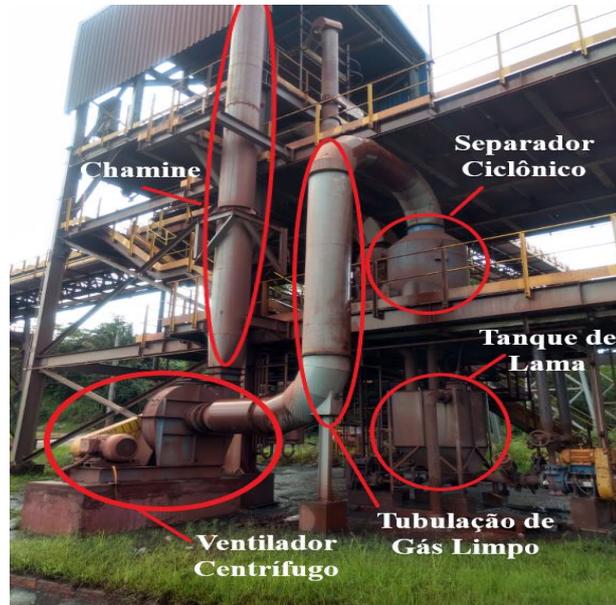


Figura 78. Demonstrativo geral do processo e o lançamento de gás limpo para atmosfera pela chaminé.

Como dito anteriormente o destino final para a lama que foi gerada é levada ao espessador para retornar ao processo. O espessador usado além de garantir o reuso de elementos que são essenciais para o processo, água e minério, acaba por atender uma necessidade e ajuda a garantindo o controle ambiental do processo.



Figura 79 (a). Imagem do espessador.



Figura 79 (b). Vista superior do Espessador.

9.2 Sistema de Glicerina

O sistema de glicerina que será apresentado, também é conhecido como “sistema supressor de pó”, que tem por finalidade a aplicação de uma solução de glicerina líquida juntamente com água industrial na correia transportadora, por meio de cortina percolada, visando se ter uma distribuição mais homogênea nas pelotas de minério de ferro. Com o objetivo de garantir a temperatura das pelotas abaixo dos 100° C para aplicação da solução de glicerina, deverá ser empregado um sistema de pré resfriamento por aplicação de água industrial através de outra cortina percolada, que deverá ser instalada a partir de 25 metros antes da aplicação da solução de glicerina. (Sistema de dosagem de glicerina, 2018). Para se ter o fornecimento de água industrial a mesma será feita por meio da linha de rede principal. No caso do fornecimento da glicerina, o sistema acontece por meio de bombeamento, começando com a sucção da glicerina no tanque “tanque reservatório de glicerina” e bombeando o fluido até o ponto que irá ser aplicado.

A glicerina que é usada no sistema é proveniente de caminhões tanque que irão ser acoplados às tubulações de sucção das bombas de alimentação do tanque reservatório que possui capacidade de 90 m³, por meio de engates rápidos na região da casa de bombas, e a armazenará para uso posterior. (Sistema de dosagem de glicerina, 2018). Para se iniciar o processo de descarregamento do caminhão para armazenamento da solução, nesta primeira fase acontece por método manual, ou seja, o operador do caminhão precisa conectar a mangueira ao engate rápido que está disponível na tubulação e a partir desse momento fazer a comunicação para sala de controle e automação. A partir deste momento a operação das bombas para início da sucção é manual podendo ser realizada localmente pelo operador em campo ou também pode ser acionada remotamente pela sala de controle. (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

9.2.1 Supressão de pó com Glicerina

O sistema que é proposto para este trabalho visa apresentar, conceituar, explicar a didática do projeto empregado, apresentar suas vantagens frente ao combate de material particulado, as etapas de formação do particulado e o método de supressão. O sistema de supressão de pó via glicerina empregado pela empresa, foi implantado para atender as demandas da Usina de Pelotização. Desta forma visa garantir o total comprometimento que a empresa possui com o bem estar dos seus colaboradores, meio ambiente e da população que habita em áreas adjacentes a empresa, além de estar totalmente em conformidade com todos os órgãos de fiscalização ambiental.

Formação de Material Particulado:

O sistema proposto visa reduzir a emissão de particulado que normalmente é gerado pela transferência das pelotas formadas nos chutes das correias transportadoras e no empilhamento já no pátio através da aplicação de uma mistura de glicerina líquida e água, que vem a atuar como supressor de pó, que é mais eficiente que a água.

Método de Aplicação:

Aplicação de glicerina líquida na correia transportadora fazendo a supressão de pó das pelotas recém saídas do processo e prontas para estocagem e embarque.

Faixas de temperaturas aceitáveis

A mistura de glicerina será aplicada nas pelotas recém formadas do forno. Tem-se relatos que a aplicação da mistura em pelotas recém formadas e que ainda apresentam altas temperaturas, ou seja, acima dos 100°C pode gerar odores desagradáveis, irritantes e potencialmente perigosos à saúde, logo, uma vez que as pelotas saem com temperaturas que variam entre 100 a 230°C é necessário se fazer a redução da temperatura antes de se aplicar a mistura. A temperatura que é considerada ideal para se aplicar a solução de glicerina, é de 100°C e o controle desta temperatura é feito com a aplicação de água diretamente sobre as pelotas através de uma cortina percolada instalada na correia, sistema de água que fica antes da aplicação do supressor. (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

Observações

1. Usa-se 500 gramas de glicerina por tonelada de pelotas;
2. A glicerina que é utilizada no sistema de supressão é do tipo “Loira”, vem lacrada e transportada por caminhão;
3. Para se fazer a mistura com a Glicerina, a quantidade de água de processo varia entre 2.5% e 0.5% para uma aplicação de 500g de glicerina por tonelada de pelota;
4. Como explicado anteriormente, a temperatura ideal para as pelotas receber o sistema de supressão por Glicerina é de 100°C. Caso esse valor não seja atendido, se tem a geração de odores desagradáveis, irritantes e perigosos, logo quando as pelotas saem em altas temperaturas as mesmas necessitam ser resfriadas para aplicação da solução;
5. O uso de água no processo para pré resfriamento, será feito de acordo com (peso/temperatura) de pelotas;
6. A tubulação de glicerina que acopla o engate rápido de transferência do caminhão deve ser de CPVC, pois a glicerina tem altas reações quando fica por períodos intermitentes na tubulação de aço carbono;
7. A glicerina possui tubulação de coloração “Preta”, pois a mesma é considerada como combustível (de acordo com a NBR-6493/1994 – Cores de Tubulação Industrial. Preto: Inflamáveis e Combustíveis de Alta Viscosidade);
8. O sistema de aplicação de Glicerina fica localizada estrategicamente próxima ao chute devido a quantidade de particulado que é gerado naquele ponto e para evitar peso na correia transportadora quando feito a aplicação;
9. A cortina percolada possui internamente um escoamento do fluído por correntes, facilitando o escoamento da solução de Glicerina pela cortina, uma vez que se tivesse cortina por tubos ou bicos sprays haveria a possibilidade de entupimentos na cortina;
10. A Glicerina possui uma baixa eficiência ou não consegue reagir quando empregada em pelotas com altas temperaturas, por este motivo o sistema de pré resfriamento é de fundamental importância. Essa temperatura influencia até mesmo no ponto de localização do sistema supressor, a mesma é empregada no final do processo após passar por etapas fundamentais como por exemplo a etapa de queima.

9.2.2 Parâmetros e variáveis de controle do processo

A vazão de água a ser aplicada deve manter uma proporção que varia entre 2 a 10% (Valor definido pelo operador, *Setpoint*, porém, deve estar dentro desta faixa) da vazão de pelotas sobre a correia, evitando desta forma que a mistura seja diluída na fase de aplicação da glicerina. A vazão de água de resfriamento será lida pelo medidor de vazão que está instalado in loco. O sistema utiliza para sistema de lógica um CLP (Controlador lógico programável). Após a abertura da válvula de controle de vazão da água, que será calculada por este CLP, através de um PID em cascata, conforme imagem abaixo, e terá como entradas a leitura de temperatura de pelotas realizada no pirômetro e pela vazão de água que é calculada a partir da leitura da balança. (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

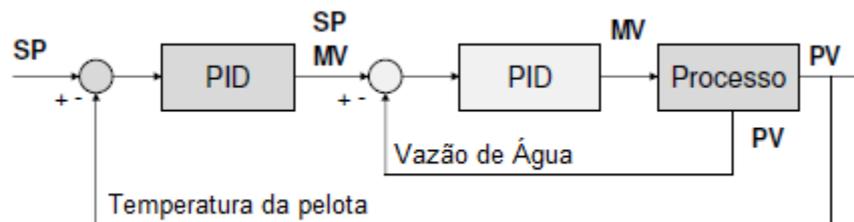


Figura 80. Malha de controle em cascata de vazão de água.

Fonte: (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

PID = Controlador proporcional integral derivativo, é uma técnica de controle de processos que une as ações derivativas, fazendo assim com que o sinal de erro seja minimizado.

Quando a temperatura estiver abaixo dos 100° C e não tiver mais a necessidade da aplicação de água de resfriamento a válvula de bloqueio será fechada garantindo a estanqueidade do sistema. Uma vez estando dentro da faixa de temperatura ideal, será permitida a aplicação da mistura de glicerina sobre as pelotas. Neste caso se é necessário fazer o balanço ideal entre glicerina e água.

Para se fazer a dosagem de glicerina é estabelecido que para cada tonelada de pelotas deverá ser feita uma aplicação entre 100 (cem) e 1000 (mil) gramas de glicerina, podendo este

valor ser definido pelo operador. O valor que se recomenda para início do processo é de 500 gramas por tonelada de pelotas. A vazão de pelotas é lida pela balança, e a partir deste momento se pode estabelecer uma relação para vazão de glicerina. (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

$$Q_{\text{Glicerina}} = SP_{\text{Glicerina}} * Q_{\text{Pelotas}} \quad (1)$$

Onde:

$SP_{\text{Glicerina}} \rightarrow$ Setpoint de Glicerina por tonelada de pelota [kg/ton]

$Q_{\text{Glicerina}} \rightarrow$ Vazão de Glicerina [kg/h]

$Q_{\text{Pelotas}} \rightarrow$ Vazão de pelotas [ton/h]

A velocidade de referência para o inversor de frequência ira ser determinada pela saída de uma malha de controle PID que terá como *Setpoint* a vazão calculada de glicerina que será comparada com a vazão indicada pelo transmissor de vazão de deslocamento positivo. (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

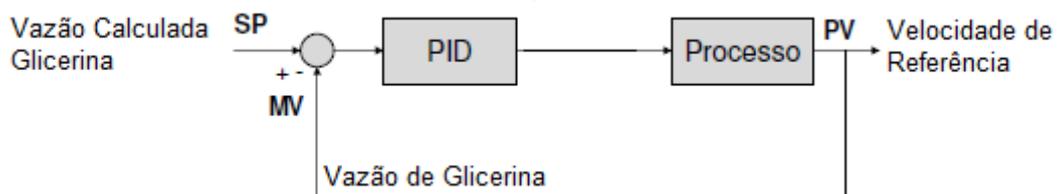


Figura 81. Malha de controle de vazão de glicerina.

Fonte: (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

Desta forma a partir da mesma leitura da vazão de pelotas será feito o cálculo da vazão de água necessária, sendo esta 2 a 10% (*Setpoint* definido pelo operador) da vazão lida pela balança. A vazão de água calculada servirá de referência para a malha de controle de vazão, conforme mostra a figura abaixo, onde esta terá como entrada a vazão indicada pelo medidor.

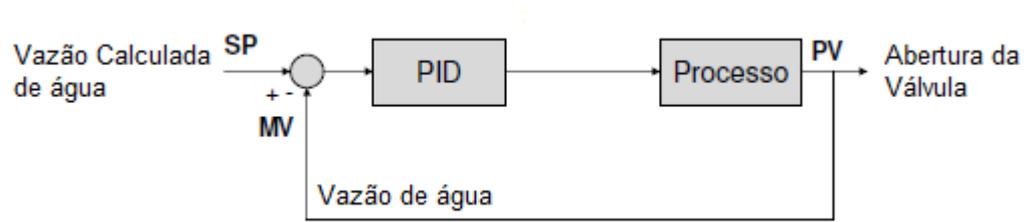


Figura 82. Malha de controle de vazão de água de adição de glicerina.

Fonte: (Sistema de dosagem de glicerina, 2018).

O controle de vazão de água que é necessário para se garantir uma diluição dentro da faixa ideal de 2.5% e 0.5% para uma aplicação de 500g de glicerina por tonelada de pelotas.

9.2.3 Tipo de Glicerina Usada

Dos tipos de glicerina que foram listadas, a que é utilizada no processo é do tipo “Loira”, ou seja, aquela que é obtida após o tratamento ácido, seguindo de remoção de ácidos graxos, possui uma concentração de 75 a 85% de glicerol, o percentual restante é composto de sais, água e de traços de etanol; (BIODIESELBR, 2008).

Para especificação deste tipo de glicerina tem-se os seguintes dados. De acordo com a (FISPQ nº PCEO.01, Pag.04 e 05, da empresa PRISMA, 2017), conforme mostra na tabela abaixo, levando em consideração variáveis como: Descrição do produto, matéria prima e tipo de uso, além do tipo de solubilidade da glicerina.

Tabela 4. Informações da FISPQ da glicerina loira.

Fonte: (Adaptado, FISPQ nº PCEO.01, Pag.04 e 05, da empresa PRISMA, 2017).

Descrição do produto	Glicerina Loira - 80% glicerol
Matéria Prima	Óleo vegetal e sebo bovino
Tipo de uso	Uso industrial
Aspecto (Estado físico, forma e cor)	Líquido Viscoso
Odor	Característico
pH	Neutro
Ponto de fusão/ponto de congelamento	17°C
Inflamabilidade (sólido, gás)	Não aplicável
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição	290°C a 760 mmHg
Ponto de fulgor	199°C (vaso fechado)
Taxa de evaporação	Não aplicável
Limite inferior/superior de Inflamabilidade ou explosividade	Superior: 19% Inferior: 2,7%
Pressão de vapor	5 mmHg a 150°C
Densidade de vapor	Não disponível
Solubilidade	Facilmente solúvel em água. Miscível em álcool. Insolúvel em éter, clorofórmio e óleos fixos e voláteis

9.2.4 Explicação do Sistema

Um dos objetivos do trabalho é se fazer um estudo que leva em consideração as características tanto do lavador de gás das casas de transferência como o novo sistema de glicerina implantado, a imagem abaixo mostra uma visão macro da área de estudo que está sendo analisada, sendo que:

- Ponto 1: O lavador de gás na casa de transferência em estudo;
- Ponto 2: O local de implantação do novo sistema de glicerina que atende a casa de transferência e o pátios de estocagem.



Figura 83. Visão macro da área de estudo.

Pode-se notar que ambos equipamentos adotam uma posição estratégica no processo, garantindo desta forma uma maior eficiência na supressão de material particulado. O (Ponto 1), ou seja o lavador de gás, recebe pelo transportador, as pelotas recém saída dos processos de queima e peneiramento, estas ainda agregam consigo uma grande carga de material particulado que é gerado na transferência de transportadores “queda” e no choque entre pelotas. Na imagem se observa um transportador de correias que unem os pontos 1 e 2, este transportador é responsável pelo escoamento de pelotas em direção ao pátio, porém, antes o mesmo recebe um banho com solução de glicerina para supressão de particulado que se encontra no (Ponto 2). Na

figura abaixo, se mostra as etapas do processo de forma simplificada para entendimento macro do processo.

Na (Figura 84), observa-se de forma simplificada as observações que foram relatadas acima, aliando as posições dos equipamentos e os recursos necessários (água, ar comprimido e caminho da pelota), além de mostrar a localização do sistema de bombeamento de glicerina e o tanque com o componente. A água que é proveniente do sistema de aspersão de água industrial, solução de glicerina e lavador de gás é proveniente da linha que vem da bacia da pelotização.



Figura 84. Demonstrativo dos processos.

A (Figura 84), mostra o início do processo e os componentes usados para se fazer a supressão de material particulado e o fluxo de transporte de pelotas que vai da área 1 até a área 3. A (Linha verde – Água de processo) é uma tubulação responsável pela aspersão no lavador de gás venturi de alta energia que se encontra na (Área 1) e também é usada para o resfriamento das pelotas recém saídas do forno (Sistema implantado no transportador que liga a Área 1 a Área 3), além de ser usada para fazer a mistura com a glicerina na (Área 3). A (Linha branca – Transporte de pelotas), demonstra qual é o caminho percorrido pela pelota após sair das etapas de queima e peneiramento na usina, a mesma passa pelo lavador de gás (Área 1) e posteriormente recebe um banho com solução de glicerina (Área 3). Na (Área 2) é local de

implantação do sistema que bombeia glicerina para o sistema e o armazenamento da mesma por meio do tanque de 90m³.

Do ponto localizado na (Área 2), tem-se a saída de duas linhas (Linha Azul – Transporte de ar comprimido) e (Linha Preta – Transporte da solução de glicerina). Para a “linha Azul”, sai da casa de sistema de aspersão de pó (Área 2) e sobe pela lateral do transportador até a (Área 3), a mesma é responsável pela abertura de uma válvula no sistema de glicerina. Já a “Linha Preta” que contém solução de glicerina percorre o mesmo caminho da “Linha azul” na lateral do transportador, e sua função no processo é fazer a mistura com água de processo proveniente da “Linha Verde” e dar o banho com solução (glicerina + água) no final do transportador (Área 3).

9.2.5 Etapas da Implantação do sistema de Glicerina

A etapa a seguir tem por finalidade estar demonstrando quais são as etapas até a deposição da glicerina no transportador via cortina percolada, além de mostrar quais os componentes que fazem parte do processo de composição do supressor.



Figura 85. Sala de instrumentação do sistema de glicerina.

O sistema de aspersão de pó “Glicerina” tem sua localização em posição estratégica, próximo ao pátio. O sistema é composto por uma sala de instrumentação (bombas, válvulas, painéis de controle) e outros equipamentos que são essenciais para o funcionamento do sistema, além do tanque que armazena a solução de glicerina, conforme pode ser visto na (Figura 86).



Figura 86. Sistema de aspersão de pó - Glicerina.

Como dito anteriormente o início do processo começa com a chegada do caminhão com a solução de glicerina, acoplado no sistema para leva-lo ao reservatório. O interior do sistema é constituído pelas seguintes etapas:

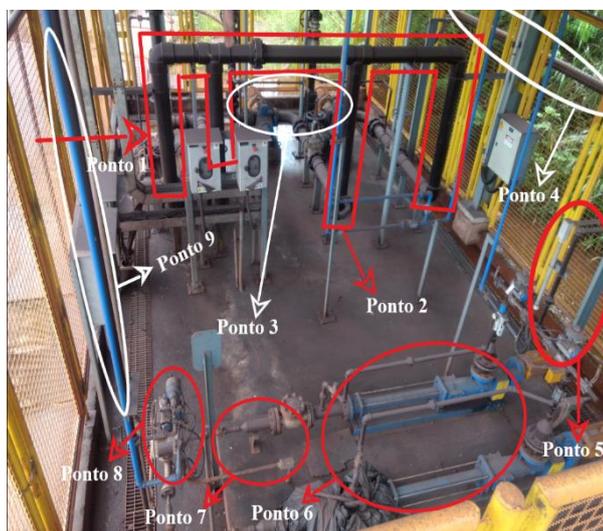


Figura 87. Sala do sistema de aspersão de pó - Glicerina, internamente.

- Ponto 1: Representa a chegada da glicerina, caminhão via mangueira acopla no sistema (Operador de forma local ou depois de engatada pode ser operada por sala de controle);
- Ponto 2: Representa a tubulação por onde a glicerina é succionada em direção ao taque por bombas que estão localizadas no (Ponto 3);
- Ponto 3: São as bombas usadas para sucção da glicerina do caminhão para o tanque de reservatório, neste ponto encontra-se duas bombas, porém uma opera e a outra fica de sobressalente (Bomba de deslocamento positivo).
- Ponto 4: Tubulação responsável por levar a solução da bomba para o tanque para armazenamento;
- Ponto 5: Neste ponto já se tem a sucção da glicerina para uso no processo, vindo por meio da tubulação que está destacada no (Ponto 5), a mesma puxa do tanque para entrada da bomba dando vazão no processo de supressão;
- Ponto 6: Bombas responsáveis pela sucção da solução de glicerina do tanque para início do processo, sendo que é usada apenas uma fica em operação e a outra fica com sobressalente (Bomba comandada por inversor de frequência);

- Ponto 7: Tubulação de glicerina na saída da bomba para dar início ao processo;
- Ponto 8: Medidor de vazão do tipo “Coriolis”, usado para marcação de valores da glicerina;
- Ponto 9: Tubulação de ar comprimido.

Antes de adentrar o processo, a glicerina que chega via caminhão passa por filtros, garantindo que a qualidade do produto que está sendo aplicado, está sendo atendida, na (Figura 88) são vistos os dois filtros utilizados na entrada do processo.



Figura 88. Filtros do sistema de Glicerina.

Como citado anteriormente, o (ponto 3) representa as bombas responsáveis por levar a glicerina bombeada do caminhão até o tanque de armazenamento, e o (ponto 4) representa a tubulação responsável pela transferência da glicerina. A imagem a seguir representa uma vista expandida dos (Pontos 3 e 4) até a chegada no tanque.



Figura 89. Caminho da glicerina-tanque e tanque-processo.

A (Figura 90) abaixo representa a chegada da glicerina no tanque, (Sua chegada ocorre por um tubulação de 4 polegadas, representada na imagem pela cor vermelha), enquanto que a tubulação que sai do tanque para ir ao processo (sai por um tubulação de 1 polegada, representada na imagem pela cor verde). Um extravasor (Tubulação marcada pela cor branca), é um quesito de segurança, evitando que o tanque encha acima do limite, quando acionado a glicerina excedente é depositada na bacia de contenção que fica ao redor do tanque de glicerina.



Figura 90. Representação de entrada e saída de glicerina do tanque.

Saindo da sala de aspersão de pó, a glicerina segue por tubulação subterrânea até o transportador de correia que escoa a produção de pelotas, juntamente a tubulação de glicerina, também se tem a tubulação de ar comprimido, como mostra a imagem abaixo, onde a tubulação de glicerina está representada de forma usual na coloração (Preta) e a de ar comprimido usualmente representada na cor (Azul).



Figura 91. Representação da entrada de glicerina e ar comprimido no processo.

Assim como as tubulações de Glicerina e de ar comprimido que seguirão pela lateral do transportador até o seu ponto de uso (Na área 3, conforme Figura 84), outros componentes são fundamentais para se garantir a total eficiência do processo e que o sistema de automação seja atendido, as etapas a seguir mostram alguns desses componentes que são fundamentais para o processo. Um deles é o “Pirômetro” que é um importante instrumento de medição que foi implantado acima da correia transportadora, com objetivo de fazer a leitura da temperatura da pelota, já que as mesmas saem com uma variação de temperatura elevada recém formada no forno, o instrumento garante que a mesma esteja ideal para receber o banho com solução de glicerina, ou seja, uma temperatura de até 100°C.



Figura 92. Pirômetro monitorando temperatura de pelotas.

Visando garantir que as pelotas estejam na temperatura ideal para recebimento da solução, outro equipamento que é utilizado na correia transportadora para pré resfriamento, se trata do sistema de aplicação de água industrial por cortina percolada, também conhecido como sistema de aspersão da correia transportadora. Quando o pirômetro verifica uma anomalia na temperatura de pelotas, ou seja, temperaturas acima dos 100°C, o sistema aciona a aspersão que faz um pré resfriamento com banho de água industrial. O sistema geralmente fica implantado assim como o pirômetro, acima da correia transportadora e fica a uma distância de até 25 metros do banho por solução de glicerina.



Figura 93. Localização de aplicação de glicerina e pré resfriamento.

A água que é proveniente do sistema de aspersão de água industrial e de solução de glicerina é proveniente da linha de alimentação do lavador de gás que conseqüentemente vem da bacia da pelotização. Para composição da instrumentação do sistema de aspersão de água industrial é composto por válvulas (retenção, 4 e 20 e ON-OFF), além dos medidores de vazão, pressão e sensores. A (Figura 94) demonstra o fenômeno descrito acima.

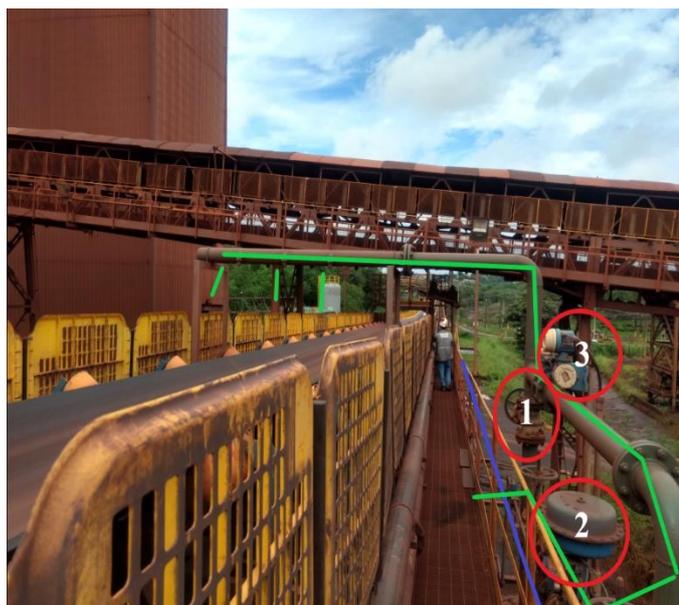


Figura 94. Demonstrativo do sistema de pré resfriamento.

Na (Figura 94), temos a seguinte disposição dos componentes:

- Ponto 1: Válvula de retenção;
- Ponto 2: Válvula 4 e 20;
- Ponto 3: Medidor de vazão;
- Linha verde: Linha de água de processo, para uso no resfriamento das pelotas;
- Linha Azul: Linha de ar comprimido responsável pela abertura da válvula 4 e 20 que automatiza o processo, enviando mais ou menos água para o processo.

Chegando ao final do processo, após analisar todas as etapas e instrumentos que sucedem a aplicação da glicerina, as pelotas em si recebem a solução supressora de pó. Esse processo acontece assim como a etapa de pré resfriamento, por cortina percolada. O instrumento é instalado próximo ao chute de transferência entre os transportadores, ponto estratégico de despreendimento de material particulado e também para evitar peso na correia transportadora.

Nas etapas seguintes irá se demonstrar uma noção geral do sistema, além de explicar o passo a passo de como acontece a mistura se solução (Glicerina + água), os instrumentos que são utilizados no processo e a cortina percolada em atividade. Os instrumentos que são usados para a aplicação da glicerina são semelhantes aos usados no sistema de pré resfriamento. Na figura a seguir pode-se listar cada um deles:

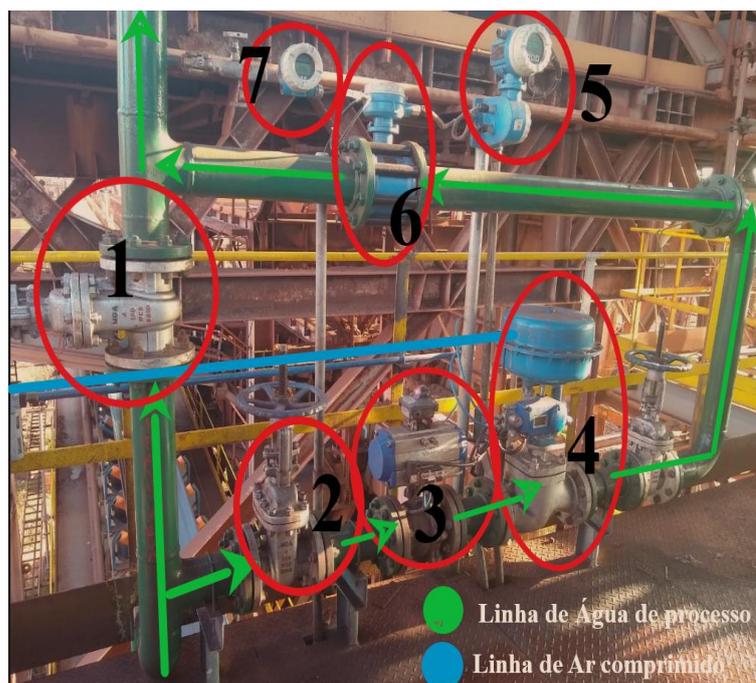


Figura 95. Instrumentação usada para aplicação de solução de glicerina.

O sistema começa com a chegada da linha de água (Linha que veio do processo, inicialmente passa pelo lavador de gás) e ar comprimido (usado para abertura das válvulas no sistema). A água de processo é usado para se fazer a mistura com a glicerina e formar a solução final.

- Linha Verde: Representa a passagem de água de processo no sistema e no final irá se misturar com a glicerina para solução final;
- Linha Azul: Representa o sistema de ar comprimido que é usado para abertura as válvulas;
- Ponto 1: *By-pass* no sistema, fazendo que a água vá para o ponto 2;
- Ponto 2: Válvula NA (Normalmente aberta)
- Ponto 3: Válvula ON-OFF;

- Ponto 4: Válvula 4 e 20 (Onde 4 representa 0 e 20 representa 100% aberta) a mesma é coordenada pelo fluxo de pelota que está passando marcado pela balança, de acordo com o aumento da produção a sala de controle pode enviar menos ou mais água para composição da solução, mistura (glicerina + água);
- Ponto 5: Medidor de vazão (Água de processo);
- Ponto 6: Sensor (Ligado ao medidor de vazão);
- Ponto 7: Medidor de pressão do sistema.

Deste ponto em diante a água se une a glicerina e segue em direção ao misturador que dá origem a solução, como mostrado no esquema abaixo:

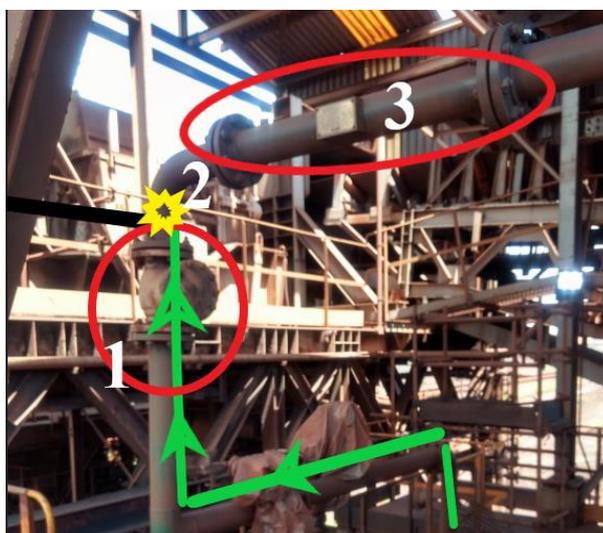


Figura 96. Mistura de água e glicerina para solução.

A imagem é um demonstrativo de como ocorre a mistura entre água e glicerina para dar início a solução. No (Ponto 1) representa uma “Válvula de retenção” responsável por deixar a água (representado pela linha verde) passar no sentido, porém evita que a união da solução no (Ponto 2) retorno pela tubulação. O (Ponto 2 – Representado por um ponto em amarelo no sistema), mostra o local que ocorre a união de água e glicerina e finalmente no (ponto 3) é conhecido como “Misturador”.

O sistema de homogeneização de glicerina, que compreende o misturador é do tipo estático, ou seja, os mesmos são instalados diretamente na tubulação, produzindo mistura e sistema de dispersão ideal. O processo de mistura entre os elementos ocorre pela energia que

está presente no fluxo, que em contato com os elementos de mistura que estão fixos, irão promover uma redistribuição e separação dos elementos. Os misturadores do tipo estático possuem em sua composição dois elementos, o tubo (corpo) e por elementos que estão fixados em seu interior, com padrões geométricos. Este tipo de conjunto (tubo e elementos) são inseridos em partes da tubulação que transporta os elementos que serão misturados, neste caso (água e glicerina), desta maneira os mesmos formam um conjunto único. (SEMCO, Tecnologia em processos Industriais, 2019).



Figura 97. Exemplo de Misturador.

Fonte: (Site da SEMCO <<http://www.semcoequipamentos.com.br/produtos/misturador-estatico.html>>, 2019).

Após todas estas etapas e a validação de todos os processos, a água é dosada com a glicerina no misturador e levada para aplicação na correia transportadora por cortina percolada. A (Figura 98) demonstra como é a cortina percolada de aplicação da solução de glicerina.



Figura 98. Cortina percolada de aplicação da solução de Glicerina.

Na (Figura 99) se tem o explicativo do fenômeno para aplicação do supressor de forma detalhada.

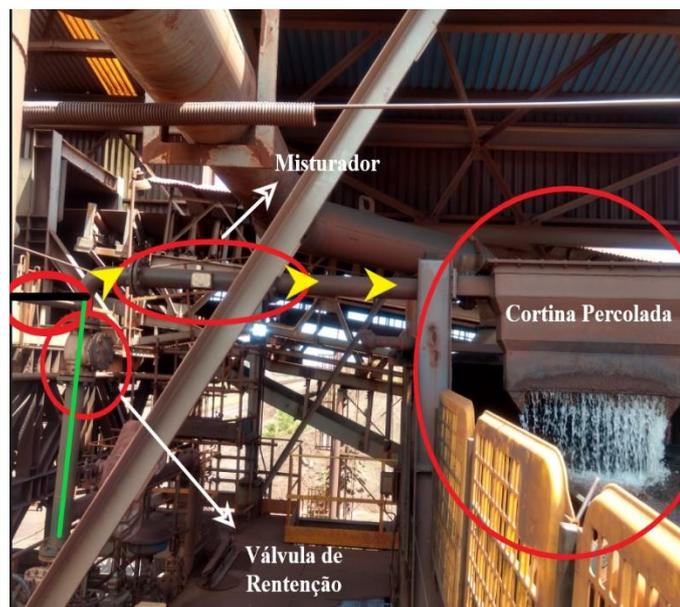


Figura 99. Descritivo de Supressão.

Na (Figura 99) mostra a apresentação do sistema de glicerina, e seus devidos instrumentos, além do misturador e cortina percolada. As setas em amarelo representam o fluxo até a chegada do ponto de aplicação. A aplicação por cortina percolada possibilita uma maior eficiência na distribuição da solução na correia transportadora, além de garantir a eficiência do

processo de supressão de pó. A (Figura 100) mostra o sistema de aplicação da solução de glicerina na correia transportadora que escoa a pelota.



Figura 100. Aplicação do supressor na correia transportadora.

10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo (OLIVEIRA, André, 2014), identifica e descreve os dois tipos de emissões que são vistas no processo de Pelotização, são elas:

- *Open Dust Source* (Na tradução literal significa “Fonte de poeira aberta”)
- *Process Fugitive Emissions* (Na tradução literal significa “Processo de emissão fugitiva”).

O modelo de emissão “*Open Dust Source*”, tem seu ponto de formação principalmente de estocagem de materiais que irão ser utilizados na produção das pelotas, entre eles pode-se destacar: Os finos de minério de ferro, calcário e carvão. Neste tipo de emissão, vem a ocorrer quando se estoca os insumos em pilhas, geralmente ocorrido após a etapa de peneiramento.

Já no modelo de emissão “*Process Fugitive Emissions*”, está envolvido no processo de combustão que vem a ocorrer no processo de queima da mistura que vem a conter finos de minério de ferro, e também de gases que são obtidos durante algumas etapas da queima, como por exemplo de resfriamento das pelotas, onde podem conter a presença de monóxido e dióxido de carbono e outros.

Para se fazer uma avaliação do tipo de emissão e uma análise mais detalhada de cada uma delas, antes é necessário se fazer uma avaliação dos processos e verificar se é possível ou não fazer a recuperação ou fazer a minimização das perdas no processo. Outro ponto que se deve levar em consideração é saber que a fonte de emissão de material particulado que é emitido pelas categorias listadas, consiste primeiramente em se estudar qual tipo de partícula e qual a emissão de gases.

Para se fazer o estudo e catalogar qual o material particulado gerado em determinado ponto do processo e implantar naquele ponto um equipamento de supressão mais adequado para situação, deve-se fazer uma avaliação do tipo de emissão, (OLIVEIRA, André, 2014), novamente identifica estes tipo de emissões:

- Identificação da Fonte: Consiste em se fazer a coleta de informações e fazer uma análise dos dados fazendo uma triagem de todas as fontes que são capazes de gerar emissões atmosféricas dentro da usina;

- Quantificação das emissões: Nesta fase irá se utilizar de técnicas que vão verificar a quantidade de emissões em cada uma das fontes de acordo com dados estabelecidos por órgãos como a CONAMA;
- Análise de Recuperação: Esta etapa vai depender de qual fonte de emissão, irá se fazer um estudo se é melhor fazer a minimização das perdas ou se fazer um melhoramento nos sistemas de supressão das emissões.

10.1 Sistema de Glicerina

Estudos que mostram o real valor de supressão de particulado do sistema de glicerina ainda estão em desenvolvimento, uma vez que ainda não se consegue afirmar a quantidade de material particulado que certa quantia de pelota consegue desprender durante o processo. Porém sabe-se que a eficiência do sistema de glicerina ultrapassa a do lavador de gás, pois a mesma cria na pelota uma camada protetora que impede o desprendimento de material particulado, suprimindo o elevado grau de particulado gerado na saída das pelotas do processo rumo aos pátios e posteriormente aos navios no embarque. Essa “película protetora” é removida apenas no local de destino das pelotas, ou seja, as siderúrgicas, que após passar as pelotas em altas temperaturas em seu processo rumo a fabricação do aço, remove a camada de proteção feita pela glicerina.

O atual sistema de supressão por glicerina implantado consegue suprir as atividades de contenção de particulado do lavador de gás que está em estudo e que o antecede e de mais dois lavadores de gás que estão instalados após o supressor, ou seja, o sistema de glicerina possui a eficiência de três ou mais lavadores de gás instalados no pátio.

O sistema de glicerina como observado anteriormente, faz a supressão das pelotas recém formadas, sendo necessário que as mesmas estejam em temperaturas menores ou igual a 100°C. O sistema faz a supressão por meio de cortina percolada com solução de glicerina e água, instalado de forma estratégica acima da correia transportadora que escoia a produção de pelotas em direção ao pátio.

O sistema de glicerina é automatizado, ou seja, é controlado remotamente via sala de controle, logo, a obtenção de resultados do mesmo levou em consideração os dados fornecidos

pela sala de controle (mês/dia). Dentre as variáveis de estudo no processo, este trabalho levou em consideração as seguintes para estudo de supressão de particulado:

- Quantidade de pelotas produzidas (Em toneladas);
- Água total de diluição (Água utilizada para compor a solução de glicerina);
- Totalização de Glicerina (Quantidade de glicerina usada na supressão de particulado).

Para composição dos resultados do sistema de supressão por glicerina, tem-se a união das variáveis que foram descritas acima:

Resultado por dia

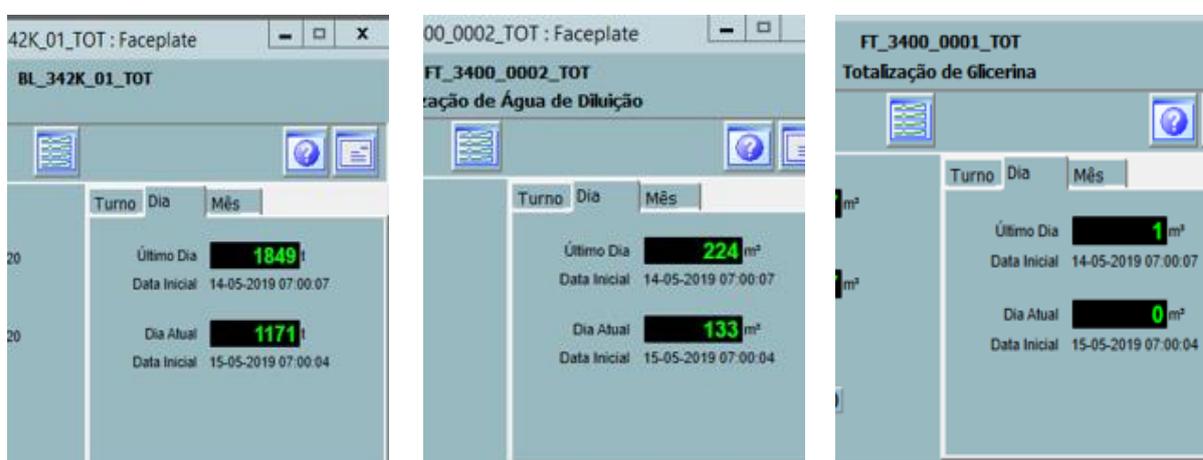


Figura 101. Dados do sistema de Glicerina - Dia (Água de diluição, glicerina e tonelada de pelotas).

Fonte: (Supervisório da Usina, 2019).

Para uma determinada produção de pelotas de 1849t, usou-se 1 m³ de glicerina e usado 224 m³ de água na mistura.

Resultado no Mês



Figura 102. Dados do sistema de Glicerina - Mês (Água de diluição, glicerina e tonelada de pelotas).

Fonte: (Supervisor da Usina, 2019).

Para uma determinada produção de pelotas de 171679t, usou-se 61 m³ de glicerina e usado 4898 m³ de água na mistura.

Estes valores podem variar, e tem como referência a quantidade de pelotas que são produzidas e a dosagem que está sendo utilizada no processo, porém sempre se procura manter os valores que foram estabelecidos anteriormente.

Quando se trata da supressão de material particulado, análises vistas em campo, e de acordo com dados do fabricante, tem-se as seguintes especificações:

- Modelo/tipo: Sistema de supressão por cortina percolada - Glicerina;
- Fluído: Água e glicerina;
- Operação: Contínua, 24 horas por dia;
- Temperatura das pelotas (Entrada): Menor que 100°C;
- Carga de pó (Entrada): 15.000 mg/Nm³;
- Carga de pó (Saída): 50 mg/Nm³;

Para se calcular a eficiência do processo de supressão do equipamento, se aplicará a formula abaixo:

$$Ef(\%) = \frac{Te (Entrada) - Te (Saída)}{Te (Entrada)} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- Te: Taxa de emissão;
- Ef: Eficiência de abatimento;
- Nm³: Normal metro cúbico (Unidade de medida para material particulado).

Logo utilizando os dados do sistema de glicerina em estudo tem-se as seguintes considerações:

- Te (Entrada): 15.000 mg/Nm³;
- Te (Saída): 50 mg/Nm³.

Lançando os dados na (Fórmula 2), se tem os seguintes resultados de eficiência do sistema de glicerina para supressão de particulado:

$$Ef(\%) = \frac{15.000 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} - 50 \text{ mg/Nm}^3}{15.000 \text{ mg/Nm}^3} \times 100$$

$$Ef(\%) = \frac{14.950 \text{ mg/Nm}^3}{15.000 \text{ mg/Nm}^3} \times 100$$

$$Ef(\%) = 0,9966 \times 100$$

$$Ef(\%) = 99,66\%$$

Logo pode-se afirmar que o equipamentos possui uma eficiência para supressão de material particulado de 99,66%.

10.1.1 Vantagens e Desvantagens do Sistema de Glicerina

Vantagens:

- Processo automatizado (As etapas do processo é controlado remotamente via sala de controle);
- Formação de uma película protetora (Prevenindo o desprendimento de material particulado nos pátios, nas transferências entre transportadores e dando mais eficiência para o supressor. A película é tão eficiente que só tem seu processo de remoção já nas usinas siderúrgicas em altas temperaturas);
- Conseguir suprir as atividades realizadas pelos lavadores de gás do pátio localizados antes e depois do supressor de glicerina;
- Integridade físico-química das pelotas (Uma vez que não se tem perda de material no processo após a aplicação do supressor);
- Ganho de produção (O material particulado que antes era desprendido e levado pelo vento, agora com a formação da película protetora é totalmente contida, se tem um aumento no peso do material);
- Tecnologia proveniente de energia limpa (Biodiesel e glicerol);
- Atende com maior conformidade os requisitos listados nas leis ambientais;
- Promove maior segurança no trabalho (Poucas atividades manuais e mais automatizados, dando segurança e eficiência ao sistema);
- Melhora o 5S (Redução da limpeza, uma vez que se tem uma maior taxa de material particulado suprido, reduzindo até mesmo os custos na manutenção);
- Consumo de água no processo relativamente baixo;
- Saúde para os colaboradores que estão envolvidos direta e indiretamente nas atividades, além do bem estar do meio ambiente e das comunidades instaladas em áreas adjacentes a empresa.

Desvantagens

O equipamento não apresentou desvantagens significativas durante as inspeções em campo e por consulta a equipe de implantação do projeto.

10.2 Lavador de Gás

O lavador de gás em estudo é o primeiro equipamento que faz o controle de particulado das pelotas recém formadas na saída dos processos de queima e peneiramento em direção ao pátio de estocagem.

Para o sistema de lavador de gás, existe redes de dutos para se fazer o despoeiramento e transporte de partículas até o lavador. Os pontos de despoeiramento são na maioria, de captação de pó em regiões de transferência de material entre equipamentos, como correias transportadoras e choque de pelotas. Neste ponto ocorre uma queda de material o que vem a provocar a suspensão de partículas finas no ar.

O tamanho e distância dos pontos de captação diferem de um lavador para o outro. Já o sistema utilizado para exaustão é comum para todos os pontos de um lavador, deve-se haver um balanceamento do circuito para que não haja um fluxo preferencial para determinado canal.

Uma vez que existe vários pontos de geração de pó, é necessário se fazer uma revisão constante do sistema de despoeiramento para verificação da necessidade de novos pontos e balanceamento do fluxo.

10.2.1 Resultados obtidos para o Lavador de Gás do Pátio

A empresa realizou testes para medir a emissão de material particulado nas chaminés do lavador, e os valores obtidos foram estabelecidos conforme metodologia empregada na coleta e análises que são descritas no método da CETESB – Cia de Tecnologia de Saneamento, e da EPA – “*Environmental Protection Agency*” (Agência de Proteção Ambiental). As normas que foram utilizadas estão de acordo com a (CETESB – Companhia Ambiental, 1990). Que descreve as seguintes normas e procedimentos para verificação e início dos testes para o lavador de gás.

- L9.221 – Dutos e chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação dos pontos de amostragem;
- L9.222 – Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da velocidade de vazão dos gases;
- L9.223 – Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da massa molecular seca e do excesso de ar do fluxo gasoso;
- L9.224 – Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da unidade dos efluentes;
- L9.225 – Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado.

Onde:

- L9.XXX – Representa o código da norma e os demais termos a descrição.
- Fontes Estacionárias: Também conhecida como fontes de emissão fixas, recebem este nome pois os poluentes gerados se encontram em apenas um ponto já determinado.

As normas que forma descritas acima servem para se determinar:

- Pontos de amostragem;
- Velocidade dos gases;
- Massa molecular do fluxo gasoso;
- Unidade dos efluentes e o material particulado.

Porém as mesmas também descrevem a aparelhagem necessária para se fazer o ensaio de amostragem, a execução e o passo a passo do ensaio (abrangendo os princípios do método e os componentes usados, preparo dos equipamentos para coleta, coleta e análise das amostras).

Para o lavador de gás em estudo neste trabalho se obteve os seguintes resultados, levando em consideração informações do (Relatório técnico, 2005).

Tabela 5. Dados referentes ao local de coleta.

Fonte: (Adaptado, Relatório técnico, 2005).

Fonte	Diâmetro interno do duto (m)	Comprimento do duto em relação ao ponto de	Números de pontos por eixo	Número de eixos amostrados	Tempo de coleta por ponto (min)	Tempo total de coleta (min)
Entrada do Lavador	1,28	3,25	12	2	2,5	60
Chaminé do Lavador	1,4	7,45	10	2	3	60

Como comentado a usina passou por um período parada e vem retornando as suas devidas funcionalidades, logo para se fazer o levantamento de dados para o sistema, irá se levar em consideração dados de 2002 do fabricante, uma vez que a usina ainda está se adequando aos processos para se chegar a meta de produção, que é aumentar o seu percentual de pelota embarcado anual.

Para o sistema de Lavador, é usado o tipo venturi de alta energia, os resultados para supressão de particulado deste equipamentos são listados abaixo, levando em consideração as análises vistas em campo, dados do sistema de amostragem descrita e informações relacionadas ao fabricante (ANALYSIS, 2002).

- Modelo/tipo: Lavador Venturi de alta energia;
- Fluído: Partículas de pó de pelotas de minério suspensas e arrastadas com ar;
- Operação: Contínua, 24 horas por dia;
- Vazão dos gases (Entrada): 306,38m³/min;
- Vazão dos gases (Saída): 306,38m³/min;
- Temperatura dos gases (Entrada): 60°C;
- Temperatura dos gases (Saída): 30°C;

- Carga de pó (Entrada): 15.000 mg/Nm³;
- Carga de pó (Saída): 1.500 mg/Nm³;
- Perda de carga do lavador: 750 mmCA;
- Vazão de água de injeção nos bicos sprays: 19,4 m³/h;
- Vazão de água descarga da lama: 16,88 m³/h;
- Pressão no bico spray: 2 Kgf/cm²

Para se calcular a eficiência do processo de supressão do equipamento, se aplicará novamente a (Fórmula 2) (Relatório técnico, 2005).

$$Ef(\%) = \frac{Te(Entrada) - Te(Saída)}{Te(Entrada)} \times 100 \quad (2)$$

Logo utilizando os dados do lavador em estudo tem-se os seguintes dados:

- Te (Entrada): 15.000 mg/Nm³;
- Te (Saída): 1.500 mg/Nm³.

Lançando os dados na (Fórmula 2), se tem os seguintes resultados de eficiência do lavador para supressão de particulado:

$$Ef(\%) = \frac{15.000 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} - 1.500 \text{ mg/Nm}^3}{15.000 \text{ mg/Nm}^3} \times 100$$

$$Ef(\%) = \frac{13.500 \text{ mg/Nm}^3}{15.000 \text{ mg/Nm}^3} \times 100$$

$$Ef(\%) = 0,9 \times 100$$

$$Ef(\%) = 90\%$$

Logo pode-se afirmar que a eficiência que o equipamento possui para se fazer a supressão de material particulado na saída do processo de queima e peneiramento, material este gerado pela transferência entre transportadores de correias e choque entre pelotas é de 90%.

10.2.2 Vantagens e Desvantagens do Lavador de Gás

Neste item se irá se demonstrar quais são as vantagens e desvantagens deste equipamento, com objetivo se ter um comparativo com o sistema de glicerina que será apresentado posteriormente. Dentro do processo da empresa e em pesquisa em área pode-se listar algumas vantagens no processo e alguns outros pontos de atenção.

O lavador de gás possui processos automatizados, porém existem pontos que ainda são necessários ajustes feitos em campo no local de instalação do equipamento, dentre essa pode-se listar:

Processos Automatizados do Lavador:

- Ligamento e desligamento do ventilador de exaustão;
- Ligamento e desligamento das bombas de água de processo;
- Parar ou se fazer a inicialização da injeção de água no lavador através de válvula de acionamento pneumático.

Processo não automatizados (Necessário atividade do operador em campo):

- Mudança da posição do obturador do venturi;
- Abertura de válvulas borboletas que é responsável pela distribuição de água para os bicos sprays;
- Abertura de válvulas que fica localizada na sucção dos ventiladores de exaustão.

Outras literaturas também listam vantagens e desvantagens para o processo de lavador de gás, (Lora, 2002; OLIVEIRA, André) lista outras características que pode-se atribuir para o sistema de lavador de gás são:

Vantagens

- Pode trabalhar com material inflamável, corrosivo e explosivo;
- Absorção e remoção de partículas no mesmo equipamento
- Variada eficiência
- Resfriamento de gases;

- Neutraliza gases corrosivos;
- Alta eficiência de remoção de material particulado;
- Trabalha em processos via úmida;
- Viável em altas temperaturas;
- Boa opção quando o material tiver características explosivas ou corrosivas;
- Eficiência dos lavadores está na faixa de 60 até 80 mg/Nm³;
- Pode coletar partículas e gases ao mesmo tempo;
- Baixo custo inicial.

Desvantagens

- Corrosão;
- Poluição secundária;
- Gera efluentes líquidos;
- Contaminação (Partículas não recicláveis);
- Alto consumo de energia devido à alta perda de carga;
- Consumo de água relativamente elevado para o funcionamento;
- Geração de resíduos;
- Grande espaço físico exigido;
- Baixa eficiência para partículas menores que 1 μm .

10.3 Melhorias Implementadas no sistema de Glicerina

10.3.1 Tubulação de CPVC

Como descrito anteriormente a glicerina reage com tubulações de aço carbono, podendo haver corrosão e diminuição do período de vida da mesma. Analisando esta necessidade, foi feito um estudo para substituição da mesma por CPVC.



Figura 103. Utilização de CPVC na tubulação de Glicerina.

O site (CONSTRUINDODECOR, 2019) define o que vem a ser uma tubulação de CPVC e define as suas condições de uso. O CPVC – Policloreto de vinila clorado – é um cano plástico, que tem sua derivação do PVC. Sua composição química possui semelhança ao PVC, porém existe adição de cloro na composição química, dando características as tubulações de (resistência e maleabilidade). Estes tipo de tubulações podem ser utilizados em sistemas com as seguintes características:

- Necessidade de alta resistência mecânica;
- Altas temperaturas;
- Altos níveis de pressão.

O CPVC possui a característica de ser inerte quimicamente a uma maior parte dos ácidos minerais, bases e sais e podem ser utilizados para tubulações de água fria e de água quente.

Outras característica que pode ser empregada a este produto é a resistência a corrosão, ou seja, este tipo de componente não sofre o efeito de corrosão do tipo galvânica e por este motivo pode ser substituído por materiais do tipo metálico. Site (CONSTRUINDODECOR, 2019).

Dentre as várias vantagens já listadas pelo CPVC, outras características que podem ser aplicadas a este material são:

- Durabilidade: Oferecem maior durabilidade quando comparadas a materiais metálicos, além de oferecer uma vantagem de possuir imunidade a meios corrosivos e incrustações.
- Resistência: Elevada resistência a meios corrosivos;
- Rentabilidade: Possui excelente custo benefício tanto para aquisição do material como na instalação em relação a produtos metálicos;
- Isolamento Térmico: Possui uma alta taxa de isolamento térmica, mantendo a temperatura do fluido em seu interior constante, sem se ter a necessidade de equipamentos de isolamento térmica específicos.
- Silencioso: Possuem uma taxa de até 4 vezes mais silencioso que o sistema que utiliza cobre. (Site CONSTRUINDODECOR, 2019).

10.3.2 Medidor de vazão Coriolis

Outra melhoria que pode ser observada e posteriormente aplicada no sistema, foi a substituição do medidor de vazão do tipo magnético por um medidor de vazão do tipo Coriolis.



Figura 104. Medidor de vazão magnético (Utilizado antes).

Por possuir uma baixa condutividade, o medidor de vazão do tipo magnético não conseguiu ler a vazão de glicerina que estava passando pelo sistema. Para comprovar a baixa condutividade da glicerina e comprovar que o equipamento não era tão eficaz no processo, foi realizado um teste *in loco* passando água pela tubulação, ou seja, a água possui uma boa condutividade, logo, o medidor de vazão do tipo magnético conseguiu marcar a vazão da mesma. Depois de realização de um novo estudo, verificou-se no mercado as características do medidor do tipo Coriolis, e se verificou que o mesmo atendia as exigências impostas pelo processo.

Um medidor de vazão “Coriolis”, é um instrumento que mede a vazão do fluido, no caso a glicerina, por meio de oscilações (Vibrações), aplicando o princípio de Coriolis. Esta técnica (direta ou dinâmica) tem por finalidade a geração de um sinal que é proporcional a vazão mássica, independente da propriedade do material que está sendo utilizado. Propriedades como (condutividade, pressão, viscosidade e temperatura), e em alguns casos o instrumento com este princípio é utilizado para determinar qual a densidade do fluido que está circulando no sistema. (Ricardo, Antônio, 2012).

Seu funcionamento abrange um excitador que provoca vibrações no tubo e a frequência verificada nesta vibração, causa movimentos laterais no tubo, levando o mesmo para trás e para frente. Esta vibração também é sentida pelos sensores eletromagnéticos e fica conhecida como vazão zero. O fluido pode ser medido no interior do medidor levando em consideração que quando mais denso é o fluido menor será a frequência da vibração e vice versa. É a vibração causada na tubulação pelo excitador que origina a forma Coriolis no fluido. (Ricardo, Antônio, 2012).

Segundo (Catálogo de medidor de vazão Contech, 2019), os medidores do tipo Coriolis possuem as seguintes características:

- Para fluídos, pinturas e gases de alta densidade;
- Adequado para materiais agressivos e contaminados;
- Medidor de vazão mássica, densidade, temperatura e volume de vazão;
- Temperatura média de até +125°C;
- Alta frequência de viração e tubos de medição bem equilibrados.



Figura 105. Medidor Coriolis no sistema de Glicerina.

10.3.3 Cortina percolada usando sistema de correntes

Uma outra melhoria que foi implementada conforme testes realizados em área e se atentando a necessidade do processo, foi a utilização de correntes na cortina percolada de aplicação do sistema supressor de pó. Devido a glicerina possuir em suas características a alta viscosidade, seu uso ser contínuo na supressão de particulado, e por uma grande necessidade de se ter eficiência no processo, o uso de tubos e bicos sprays na cortina percolada se torna pouco útil, uma vez que devido as propriedades a glicerina poderia entupir a saída do material da cortina. Analisando esta necessidade e buscando a máxima eficiência, foi repensada uma nova forma de se fazer o escoamento do supressor na cortina. A ideia foi simples, a utilização de correntes, ou seja, aplicando o sistema de correntes se percebeu uma grande melhoria e que também evitava os famosos entupimentos na saída, além de controlar e dar uma maior distribuição da solução sobre a correia transportadora de pelotas. Para representação do sistema de correntes foram elaborados desenhos técnicos que mostram internamente o fenômeno que está descrito acima. Na (Figura 106) mostra-se uma noção da dimensão do projeto que foi implantado.

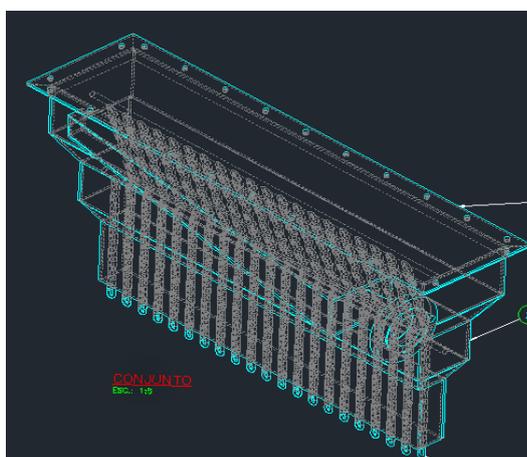


Figura 106. Sistemas de correntes usado na cortina percolada de glicerina.

Fonte: (Projeto Sistema supressor de pó, 2018).

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle ambiental se faz necessário e sempre trabalha em prol do bem estar do meio ambiente e uma melhor qualidade de vida que beneficie a todos. Para as indústrias da mineração em escala global, em especial a empresa de mineração estudada, significa dar novos valores aos aspectos de origem ambiental, social e também as de origem econômica em todos os seus processos. A quantidade de material emitido pelo ramo da mineração é considerado alto e pode prejudicar a saúde humana. O texto levantou discussões sobre os elementos constituintes do material particulado e como se não tratados podem vir a causar malefícios a saúde humana e do meio ambiente. É neste cenário de tanta atenção que se faz necessário os equipamentos de supressão e controle de particulado que foram abordados e estudados, além de demonstrar o quanto a empresa investe em tecnologias que visa maximizar os resultados, porém, sem agredir o meio ambiente e a saúde de seus colaboradores. Com uma grande expectativa de que a produção de pelotas de alto forno tenha um elevado crescimento nos próximos anos, de forma paralela se tem uma maior exigência para o controle de material particulado que são gerados nesses processos. Entender o processo de formação de pelotas nas usinas de pelletização foi relevante, pois ajudou a entender onde se tem maior ocorrência de particulado no processo e desta forma aplicar de maneira mais eficiente os equipamentos de controle ambiental, em especial a implantação de uma tecnologia de supressão que tem sua base em energia limpa como o glicerol e posteriormente a glicerina, que além de aumentar a eficiência no controle de particulado, possui várias vantagens em relação aos demais equipamentos que foram estudados.

O trabalho em questão demonstrou a eficiência dos equipamentos na etapa de controle de particulado, além das vantagens e desvantagens encontradas e que influenciam na escolha do equipamento nos pontos em questão. Como avaliado a geração de material particulado na maioria dos processos foi ocasionado pela transferência entre correias transportadoras, gases provenientes da queima e também pelo choque entre pelotas, e um ponto de atenção observado durante a fase de pesquisa e que poderia vir a complementar a fase de resultados, é justamente o que diz respeito a quantidade de particulado que está sendo gerado. Não foi possível identificar por exemplo, a quantidade exata de particulado desprendido em 1 tonelada de pelota quando a mesma é transferida entre chutes de descarga ou até mesmo quando as pelotas se chocam, deve-se lembrar que a usina ainda passa por processo de adequação e revitalização e futuramente componentes mais tecnológicos serão instalados. Hoje o que pode ser feito, foi

abordado e está descrito neste trabalho, ou seja, sabe-se o quanto poderá ser suprido somente com dados da eficiência dos equipamentos. A empresa demonstrou o quanto está engajada na busca pela redução de materiais particulados, investindo em tecnologias e equipamentos modernos que auxiliam na supressão do mesmo, o trabalho mostra exemplos desses equipamentos e como a sua utilização agrega de maneira positiva nos pontos onde há formação de particulado. O trabalho em questão deixa um legado ambiental, social, tecnológico e financeiro realizado em conjunto com a empresa e ajudou a entender o tamanho da importância de se ter equipamentos tão eficientes e relevantes no processo, garantindo desta forma que as normas ambientais sejam atendidas pelos órgãos fiscalizadores, materiais particulados sejam eficientemente contidos utilizando equipamentos mais tecnológicos e se tenha um aumento na produção garantindo eficácia no processo nas etapas que constituem a usina de pelotização e o mais importante o bem estar do meio ambiente e da sociedade.

Uma outra ideia que serve como “projetos futuros” e que pode ser utilizada para análise em termos numéricos da quantidade de particulado que está sendo desprendido, é acompanhar desde o início do processo a quantidade em termos percentuais dos insumos que estão sendo utilizados e misturados ao *Pellet feed* para produzir certa carga de pelotas e colher amostras por pontos, para verificar o quanto cada faixa de mistura produz de particulado no processo, ou seja, mapear as combinações dos insumos e minério (dentro da faixa específica para formação das pelotas) e no final fazer a medição por equipamentos de controle disponíveis no mercado.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Relatório do SDI – **Sistema Dinâmico de Informações Estatísticas**. São Paulo, 2008. 36 p
- ALMEIDA, T. I. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mineral, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ANALYSIS Consultoria e Projetos Ltda. “**Sistema de despoeiramento por lavador de gases para controle de emissão de particulados**,” Manual de Instruções para montagem, operação e manutenção, São Paulo, 1-11. 2000, p – 5.
- ANP, 2014 ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim mensal do biodiesel. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- ANP, 2016 ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim mensal do biodiesel. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- ASSUNÇÃO, J.V. et al. **Seleção de equipamentos de controle de poluição do ar**. São Paulo, CETESB, 1990.
- ASSUNÇÃO, J. V. Poluição Atmosférica. In CASTELLANO, E. G., **Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias**. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998.
- BALL, D.F.; DARTNELL, J.; DAVIDSON, J.; GRIEVE, A.; WILD, R. **Agglomeration of iron ores**. London: Heineman Educ., 1973. 388 p.
- BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y.J.K.; LIMA, D.P. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estéreos seletivas; **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 306-319, 2010.
- BIODIESELBR. **Glicerina, o tamanho do problema** – Ano1, n 3 – Fev/Mar – 2008.

BORIM, J. C. **Modelagem e Controle de um Processo de Endurecimento de Pelotas de Minério de Ferro**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2000.

BRASIL. Leis etc. **Consolidação da legislação mineral e ambiental**. 2.ed. atual. e revista. Org. por Uile Reginaldo Pinto. Brasília, DMG, 1993.

BRASIL. Leis etc. **Legislação federal: controle da poluição ambiental** (atualizado até julho de 1990). São Paulo, CETESB, 1990. (Série Documentos/ Secretaria do Meio Ambiente).

CAVALCANTI, Pedro. P.S. **Gestão Ambiental na indústria siderúrgica – Aspectos relacionados às emissões atmosféricas**. 2012. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2012.

CETESB, C. A. (2010). Relatório de qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2009. Série Relatórios. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo.

CETESB (1997). Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo.

CHING W. H.; RODRIGUES C. W. (Coord.). **Cartilha biodiesel**. SEBRAE, 2007. 61p.

CONAMA, Sub Grupo de Minas Gerais. Proposição de Limites Máximos de Emissão de Poluentes Atmosféricos de Fontes Fixas Para a Indústria Siderúrgica em Nível Nacional. Sétimo Conselho GT. 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Controle ambiental da mineração**; coord. técnica por G.P.Fraga. São Paulo, CETESB, 1992. (Série Didática Especial, 15).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação federal: controle da poluição ambiental**. São Paulo, CETESB, 1995. (Série Documentos).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Normas sobre controle ambiental da mineração**. São Paulo, CETESB, 1990.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA n° 3 de 28/06/90**. S.n.t.

CONSTRUINDODECOR – **Tubulação em CPVC**, 2019. [Internet] Disponível em: <<http://construindodecor.com.br/tubulacao-em-cpvc-caracteristicas-e-precos/>>. Acesso em: 12/04/2019.

CONTECH – **Medidores de vazão Coriolis**, 2019. [Internet] Disponível em: <http://www.contechind.com.br/catalogos/medidor_de_vazao_tipo_massico_coriolis.pdf>. Acesso em 30/05/2019.

CORBARI – Engenharia de controle ambiental – **Filtro de manga**, 2019. [Internet] Disponível em: < <http://www.corbari.com.br/filtro-manga>>. Acesso em: 12/04/2019.

COSTA, Márcio M. **Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço**, Tese de Doutorado, PPE/COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

COSTA, R. V. P. **Otimização da Resistência à Compressão de Pelotas de Minério de Ferro para Redução Direta pela Aplicação de Projeto Robusto**. Dissertação de Mestrado – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.

DASARI, M.A.; KIATSIMKUL, P.P.; SUTTERLIN, W.R.; SUPPES, G.J. Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. **Applied Catalysis A: General**, v. 281, n. 1, p. 225-231, 2005.

ECYCLE – **O que é poluição do ar? Conheça causas e tipos**, 2010-2019. [Internet] Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br/2949-poluicao-do-ar-atmosferica>>. Acesso em: 23/03/2019.

Enclausuramento dos pátios de pelota: manual de orientação. São Luís, 2008. 19p. (Série manuais).

Enfil, Catálogo (2000). Soluções para Controle da Poluição Atmosférica.

EPA, Bohn, R. (1978). Fugitive Emissions From Integrated Iron and Steel Plants. Midwest Research Institute.

EPE. Ministério de Minas e Energia. **Boletim mensal dos combustíveis renováveis**, E. n 96 Fevereiro/2016.

EPE. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis**, 2014. Empresa de Pesquisa Energética, 2015.

Equipamentos de controle ambiental: manual de orientação. São Luís, 2017. 11p. (Série manuais).

GODISH, T. **Air quality**. 2. ed. Chelsea, Lewis, 1991.

GUIMARÃES, Claudinei de Souza. **Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. – 1 ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

IMIRANTE.COM – **Operações na usina de pelotização**, 2017. Disponível em: <<https://imirante.com/sao-luis/noticias/2018/05/04/vale-inicia-operacao-da-usina-de-pelotizacao-em-sao-luis.shtml>>so em: 10/04/2019.

JESUS, C.A.G. Ferro. **Sumário Mineral**, Brasília, v. 31, 2011. Disponível em: <http://www.ibgm.com.br/admin/_upload/biblioteca/documento/477-DNPM-Estatisticasminerai2011.pdf>. Acesso em: 23/04/2019.

KNOTHE, G.; VAN, J. G.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de biodiesel**. Matérias-primas alternativas e tecnologias para a produção de biodiesel. 1 ed. São Paulo: Editora Egdgard Blücher LTDA, p. 46-61, 2006.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v.32, n.6, p. 1596- 1608, 2009.

Lora, E. E. (2002). Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte. Rio de Janeiro: Interciência.

Manual de operação e manutenção do sistema de despoeiramento: manual de orientação. São Luís, 2002. 28p. (Série manuais).

Manual do sistema de Gestão e Qualidade: manual de orientação. São Luís, 2017. 250p. (Série manuais).

MEYER, K. **Pelletizing of Iron Ores.** Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, and Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf, 1980.

MORAES, S.L. **Contribuição ao entendimento de agente coloidisante no processo de pelotização de concretado de minério de ferro.** 2014. 131p. Dissertação (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MORAES, S.L. **Comparação de desempenho de aglomerante orgânico em relação à bentonita na operação de pelotização de concentrados de minério de ferro brasileiros de diversas procedências.** 2004. 80 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade São Paulo, São Paulo, 2004.

MOURÃO, J.M. **Aspectos conceituais relativos à pelotização de minérios de ferro.** ed. Espírito Santo, 2017. chap. 1-3, p.11-19-21.

MOURÃO, M. B.; et al. **Introdução à Siderurgia.** ABM. São Paulo, 2007.

MUCCIACITO, J.C. - Revista MF – **Estratégia de controle de poluentes atmosféricos, como alternativa de redução de emissões destes contaminantes** – Disponível em: <www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?link=ultima&fase=C&id=781> Edição nº 56, Maio/Junho.2012. Acesso em: 09/04/2019.

NUNES, J. E. F. **Controle de um Processo de Pelotização: Realimentação por Imagem.** Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2004.

OLIVEIRA, André A.B. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica.** 2014. 85p. Dissertação (Graduação) – Faculdade de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PACHAURI, N.; HE, B. Value-added utilization of crude glycerol from biodiesel production: a survey of current research. **American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual Meeting**, Portland, OR, 2006.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel**: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, p. 68, 2003.

PRISMA Brazil Trading – **Ficha de informação de segurança de produto químico – FISPQ**, 2017 [Internet] Disponível em: <<http://www.prismabrazil.com>>. Acesso em: 14/05/2019.

Projeto de retomada da Pelotização: manual de orientação. São Luís, 2017. 49p. (Série manuais).

Relatório técnico: Manual de orientação. São Luís, 2005. 28p. (Série manuais)

RAMOS, L. P.; SILVA, F.R.; MANGRICH; CORDEIRO, C.S. Tecnologias de produção de biodiesel tecnologias de produção de biodiesel. **Revista virtual de química**, v. 3, n. 5, p. 385– 405, 2011.

RAVEN, P. H.; BERG, L. R.; JOHNSON, G. B. **Environment**. Fort Worth, Saunders College Publishing, 1995.

REIS, Neyval. C. Jr. **Equipamentos de controle de poluição do ar**, 2005. [Internet] Disponível em: <[http://inf.ufes.br/~neyval/Gestao_ambiental/tecnologias_Ambientais2005/Poluicao_do_Ar/Rec_Atm\(moduloVI\)2005.pdf&ved=2ahUKEwju5YG37NziAhVZGbkGHf4s](http://inf.ufes.br/~neyval/Gestao_ambiental/tecnologias_Ambientais2005/Poluicao_do_Ar/Rec_Atm(moduloVI)2005.pdf&ved=2ahUKEwju5YG37NziAhVZGbkGHf4s)> Acesso em: 21/05/2019.

RICARDO, Antonio – Vida de estudante – **Medidor de vazão coriólis**, 2012. [Internet] Disponível em: < <http://vidadestutante.blogspot.com/2012/10/medidor-de-vazao-coriolis.html>>. Acesso em: 18/03/2019.

RODRIGUES, R.C. **Síntese de biodiesel através de transesterificação enzimática de óleos vegetais catalisada por lipase imobilizada por ligação covalente multipontual**. Tese de doutorado. Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, 2010.

SCHWENGBER, C. A.; ALVES, H. J.; SCHAFFNER, R. A.; SILVA, F. A.; SEQUINEL, R.; BACH, V. R.; FERRACIN, R. J. Overview of glycerol reforming for hydrogen production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 259-266, 2016.

SEMCO – Tecnologia em processos industriais – **Misturadores estáticos**, 2019. [Internet] Disponível em: <<http://www.semcoequipamentos.com.br/produtos/misturador-estatico.html>>. Acesso em: 15/05/2019.

SILVA, F. D. **Redução do Delta de Resistência à Compressão entre Pelotas Produzidas e Embarcadas nas Usinas de Pelotização da Vale – Uma Análise de Causas**. Monografia de Pós-Graduação – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2010.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA EXTRAÇÃO DO FERRO E METAIS BÁSICOS – SINFERBASE. **Relatório novembro – 2009**.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA EXTRAÇÃO DO FERRO E METAIS BÁSICOS – SINFERBASE. **Relatório novembro – 2010**.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA EXTRAÇÃO DO FERRO E METAIS BÁSICOS – SINFERBASE. **Relatório novembro – 2011**.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA EXTRAÇÃO DE FERRO E METAIS BÁSICOS. **Relatório anual 2012**: minério de ferro. Brasília, 2013.

Tersel, Equipamentos Industriais Ltda. **“Manual de operação e manutenção**. São Luís, p. 4-5. 2000. 25 p.

TSA. **Implantação do sistema de glicerina para projeto de revitalização**, “Usina de Pelotização do terminal portuário de ponta da madeira, Belo Horizonte, 17-04. 2018, p – 4-5.

TSA. **Sistema de dosagem de glicerina**: manual de orientação. São Luís, 2018. 8 p. (Série manuais).

UMPIERRE, A.P.; MACHADO, F. Gliceroquímica e valorização do glicerol. **Revista Virtual Química**, v. 5, n. 1, p. 106-116, 2013.

Unep/Who (1994). United Nations Environment Programs: Gems/Air Methodology Review Handbook Series (Volume 4). Passive and Active Sampling Methodologies for Measurement of Air Quality.

USIMINAS – Mineração – *Pellet, sinter feed*, 2019. [Internet] Disponível em: <<https://www.usiminas.com/mineracao/produtos/>>. Acesso em: 09/03/2019.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (1983). Evaluation of the carcinogenic BIO risk of chemicals to humans, Polynuclear Aromatic Compounds, Part 1, chemical environmental and experimental data, 32. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization.

VALE.COM – **Ferramenta otimiza gestão de emissões atmosféricas e da qualidade do ar**, 2014. [Internet] Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/ferramenta-otimiza-gestao-emissoes-atmosfericas-qualidade-ar.aspx>>. Acesso em: 21/05/2019.

VALE.COM – **Você sabe o que é pelotização?**, 2017. [Internet] Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/voce-sabe-o-que-e-pelotizacao.aspx>>. Acesso em: 14/04/2019.

VALE.COM – **Wind fence completa 5 anos de utilização em tubarão**, 2014. [Internet] Disponível em: < <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/wind-fence-completa-5-anos-utilizacao-tubarao.aspx>>. Acesso em: 21/05/2019.

VALE. Technical Cooperation Agreement Formosa Ha Tinh STEEL Corporation – Vale. Training Program - Pelletizing Process. Marketing and Research & Development Department – DITM. 2010.

VALE S.A, 2017. Disponível em: <www.vale.com/brasil/pt/paginas/default.aspx> Acesso em 06 de abril. 2019.

VASCONCELOS, YURI. Resíduos bem-vindos. Revista Pesquisa FAPESP, ed. 196, junho de 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/06/14/residuosbem-vindos/>>. Acesso em: 06 abr. 2019.