



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**Richardson Freire**

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE FILTRO DE MANGAS EM UMA  
EMPRESA DE CALCÁRIO: UM ESTUDO DE CASO NA EMPRESA  
MINERAX – XAMBIOÁ-TOCANTINS**

**Palmas  
2013**

**Richardson Freire**

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE FILTRO DE MANGAS EM UMA  
EMPRESA DE CALCÁRIO: UM ESTUDO DE CASO NA EMPRESA  
MINERAX – XAMBIOÁ-TOCANTINS**

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia de Minas, do Centro Universitário Luterano de Palmas, coordenado pelo Prof. Esp. José Cleuton Batista.

Orientador: Prof. Dr. Erwin Tochtrop

**Palmas  
2013**

RICHARDSON FREIRE

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE FILTRO DE MANGAS EM UMA  
EMPRESA DE CALCÁRIO: UM ESTUDO DE CASO NA EMPRESA  
MINERAX – XAMBIOÁ-TOCANTINS

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia de Minas, do Centro Universitário Luterano de Palmas, coordenado pelo Prof. Esp. José Cleuton Batista.

Aprovada em \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de 2013.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Erwin Tochtrop

Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues

Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Esp. José Cleuton Batista

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas  
2013

À toda minha família e amigos de sempre que,  
de uma maneira ou de outra, me ajudaram a  
chegar até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por minha saúde e bênçãos diárias em minha vida.

Aos meus pais, Adalberto e Fátima, pela educação de base e por tudo que, com carinho, sempre fizeram por mim; por toda a formação de meu caráter, fazendo me tornar a pessoa que hoje sou. Sem isso, minha trajetória sem dúvida seria diferente.

À minha sogra e amiga Marta pelo apoio e incentivos sem fim desde o início de minha trajetória.

Ao meu sogro e amigo Teske e À amiga e “sogra” Débora, por todas as conversas, trocas de experiências e incentivos.

Aos amigos e companheiros de curso, que de uma maneira ou de outra sempre nos apoiamos;

Aos professores que muito me ajudaram com seus ensinamentos, especialmente ao José Cleuton, ao Rodrigo, ao Daniel e ao Leonardo.

Ao meu orientador Erwin, pela disponibilidade em compartilhar seus conhecimentos na construção deste estudo.

E, por fim, ao meu amor, À minha esposa Ana Letícia, pois sem seu apoio nada disso seria possível nem teria sentido; sem ela não teria graça nada disso, a vontade não seria a mesma...

A todos, o meu Muito Obrigado!

*“Estamos na situação de uma criancinha que entra em uma imensa biblioteca, repleta de livros em muitas línguas. A criança sabe que alguém deve ter escrito aqueles livros, mas não sabe como. Não compreende as línguas em que foram escritos. Tem uma pálida suspeita de que a disposição dos livros obedece a uma ordem misteriosa, mas não sabe qual ela é”.*

(Albert Einstein)

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”*

(Arthur Schopenhauer)

## RESUMO

FREIRE, Richardson Sousa. **Otimização do sistema de um Filtro de Mangas em uma empresa de calcário: Um estudo de caso na empresa Minerax – Xambioá-Tocantins.** 2013. 65 f. TCC (Curso Engenharia de Minas). Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas, Tocantins.

A busca por mecanismos viáveis e eficazes de captura e controle de material particulado tem sido uma crescente preocupação na área da mineração, especialmente pelos fatores de risco ocupacionais envolvidos e pela perda produtiva que isso pode representar para as empresas. Diante disto, utilizando-se da Investigação-Ação como metodologia de trabalho, além de vasta pesquisa bibliográfica como embasamento teórico, este estudo de caso objetivou conhecer e analisar o processo de filtragem de um modo geral e, mais especificamente, de captura de particulados pela utilização do Filtro de Mangas em uma empresa de calcário no estado do Tocantins. Ao final, foi possível identificar alternativas para a otimização deste processo, capazes de promover tanto melhorias nas condições de saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos, quanto diminuição das perdas e, conseqüentemente, aumento da produtividade por parte da empresa.

*Palavras-chave:* Filtragem. Particulados. Filtro de Mangas. Calcário.

## **LISTA DE SIGLAS**

**ANFO** – Ammonium Nitrate / Fuel Oil

**CALTINS** – Calcário Tocantins

**CaO** – Óxido de Cálcio

**CONSEMA** – Conselho Estadual do Meio Ambiente

**DNPM** – Departamento Nacional de Produção Mineral

**EPI** – Equipamento de Proteção Individual

**MA** - Maranhão

**MbAC** – MbAC Fertilizer Corporation

**MgO** – Óxido de Magnésio

**MINERAX** – Mineração Xambioá

**NATICAL** – Natividade Calcário

**NOX** – Número de Oxidação

**PA** - Pará

**SISNAMA** – Sistema Nacional do Meio Ambiente

**SUPERCAL** – Super Calcário

**TO** – Tocantins



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1:</b> Evolução da proteção respiratória ao longo dos séculos .....   | 36 |
| <b>Tabela 2:</b> Equipamentos para beneficiamento na empresa Minerax .....  | 43 |
| <b>Tabela 3:</b> Intervalos granulométricos .....   | 46 |
| <b>Tabela 4:</b> Balanço de Massa referente ao período de 06.06.2012 a 31.12.2012 .....   | 47 |
| <b>Tabela 5:</b> Metas de produção para o ano de 2013 .....   | 47 |
| <b>Tabela 6:</b> Amostras de Máscaras de Proteção Individual dos trabalhadores antes e após o uso normal durante um turno de trabalho (8 horas) ..... | 55 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Relação entre Separadores e materiais particulados .....   | 21 |
| <b>Figura 2:</b> Estrutura representativa de um Filtro de Mangas .....  | 24 |
| <b>Figura 3:</b> Estrutura representativa da distribuição das mangas de um Filtro de Mangas .....                           | 25 |
| <b>Figura 4:</b> Filtro de Mangas do Tipo Convencional .....  | 26 |
| <b>Figura 5:</b> Filtro de Mangas do Tipo Convencional com isolamento das mangas .....                                      | 27 |
| <b>Figura 6:</b> Filtro de Mangas do Tipo Acionamento Mecânico .....  | 28 |
| <b>Figura 7:</b> Esquema para identificação das partes de um Filtro de Mangas do Tipo <i>Pulse Jet</i> , sem as mangas..... | 29 |
| <b>Figura 8:</b> Esquema gráfico de representação da Pressão x Vazão .....  | 31 |
| <b>Figura 9:</b> Sistema de limpeza com vista frontal e em planta.....  | 32 |
| <b>Figura 10:</b> Modelo de reservatório de ar comprimido.....  | 33 |
| <b>Figura 11:</b> Modelo de Válvulas Solenóides com conexão tipo rosca e tipo baioneta (de engate rápido) .....             | 33 |
| <b>Figura 12:</b> Cava 1 .....  | 40 |
| <b>Figura 13:</b> Cava 2 .....  | 40 |
| <b>Figura 14:</b> Mapa de Sondagem .....  | 42 |
| <b>Figura 15:</b> Primeiro estágio de beneficiamento .....  | 43 |
| <b>Figura 16:</b> Segundo estágio de beneficiamento .....   | 44 |
| <b>Figura 17:</b> Fluxograma do processo de beneficiamento na empresa Minerax .....   | 45 |
| <b>Figura 18:</b> Evidencia a quantidade de material particulado solto no ambiente de trabalho .....                        | 51 |
| <b>Figura 19:</b> Comparativo 1, entre uma Máscara antes e após o uso por um trabalhador .....                              | 52 |
| <b>Figura 20:</b> Comparativo 2, entre uma Máscara antes e após o uso por um trabalhador .....                              | 53 |
| <b>Figura 21:</b> Comparativo 3, entre uma Máscara antes e após o uso por um  |    |

|   |    |
|---|----|
| trabalhador .....   | 54 |
| <b>Figura 22:</b> Evidencia o sentido do vento na planta de beneficiamento .....  | 56 |
| <b>Figura 23:</b> Evidencia o acúmulo de material particulado na região Sul do Filtro de Mangas em decorrência do sentido do vento..... | 56 |
| <b>Figura 24:</b> Evidencia a localização do Filtro de Mangas e do Exaustor na planta de beneficiamento .....                           | 57 |
| <b>Figura 25:</b> Evidencia a localização do Filtro de Mangas e do Exaustor na planta de beneficiamento.....                            | 58 |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....  | 12 |
| 1.1   | Objetivos.....   | 14 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral .....   | 14 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos .....  | 14 |
| 2     | REFERENCIAL TEÓRICO.....   | 15 |
| 2.1   | Sobre os processos de Mineração.....   | 15 |
| 2.1.1 | Prospecção e Pesquisa mineral .....  | 15 |
| 2.1.2 | Terraplanagem .....  | 16 |
| 2.1.3 | Planejamento Operacional de Lavra.....   | 16 |
| 2.1.4 | Desmonte .....   | 16 |
| 2.1.5 | Carregamento e Transporte .....  | 17 |
| 2.1.6 | Beneficiamento.....  | 18 |
| 2.1.7 | Aspectos Ambientais .....  | 19 |
| 2.2   | Filtragem de particulados e utilização do Filtro de Mangas.....                              | 20 |
| 2.2.1 | Filtro de Mangas .....   | 22 |
| 2.2.2 | Serviço de Ar Comprimido.....  | 31 |
| 2.2.3 | Exaustor.....  | 33 |
| 2.2.4 | Emissão de particulados e implicações para saúde e segurança dos<br>trabalhadores.....       | 34 |
| 3     | CONTEXTUALIZANDO A MINERAÇÃO NO ESTADO DO TOCANTINS<br>E APRESENTANDO A EMPRESA MINERAX..... | 38 |
| 3.1   | Empresa Minerax.....   | 39 |
| 3.1.1 | Beneficiamento na empresa Minerax .....  | 43 |
| 4     | METODOLOGIA.....   | 48 |
| 5     | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....   | 50 |
| 6     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 59 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 61 |

## 1 INTRODUÇÃO

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”*  
(Albert Einstein)

Como requisito parcial para conclusão do curso de Engenharia de Minas do Centro Universitário Luterano de Palmas, prevê-se a realização da disciplina de TCC II – Trabalho de Conclusão de Curso, o qual se caracteriza como projeto final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II).

Assim, após a experiência de estágio, desenvolvido em uma empresa pertencente a um importante grupo de mineração do estado, o Grupo J. Demito, surgiu o interesse do autor em dar continuidade aos estudos nesta área da mineração e, sendo possível, nesta mesma empresa, dada a importância e relevância da mesma para o estado do Tocantins. Localizada no extremo norte do estado, trata-se de uma empresa de médio porte que, em uma mina a céu aberto, extrai calcário voltado para atender tanto o mercado da agricultura, através da produção de corretivo de solo, quanto o mercado siderúrgico, pela produção de brita siderúrgica.

Em grande parte dos processos de beneficiamento de minérios a seco, em especial a moagem, são altos os índices de emissão de particulados, os quais, além de serem prejudiciais à saúde e segurança dos envolvidos diretamente neste processo, também significam perda de material que poderia ser aproveitado na produção de seu produto final. No caso da moagem de calcário, isto se torna especialmente evidente dada a dificuldade de captura destes particulados pela própria natureza do minério, lembrando-se que, pelas próprias características do processo de moagem, a produção de corretivo de solo é o maior responsável pela emissão de particulados no sistema e possíveis conseqüentes perdas significativas de produção.

Assim, considerando-se o processo de captura de particulados utilizado na empresa de calcário supracitada, questiona-se quais os índices de perda de material verificados atualmente e quais as possibilidades de identificação de melhorias e/ou otimização deste processo. De modo geral, acredita-se que seja possível, mediante conhecimento e análise dos processos de

captura de particulados, identificar alternativas que promovam a otimização/melhorias neste processo, o que será valioso para todos os envolvidos, tanto pelo aumento na saúde e segurança dos trabalhadores quanto pelo aumento da produtividade da empresa, considerando-se o rendimento que pode ser obtido com a recolocação deste material particulado no processo de produção.

Inicialmente, o *Capítulo 2 – Sobre os processos de Mineração*, apresenta, de um modo geral, o funcionamento dos processos de mineração, etapas envolvidas e cuidados requeridos, com o intuito de situar o leitor na área a ser mais detalhadamente trabalhada no *Capítulo 3 – Filtragem de Particulados e Utilização de Filtro de Mangas*. Neste capítulo aborda-se o processo de filtragem como um todo, atentando-se às particularidades e peculiaridades inerentes ao processo de filtragem pelo Filtro de Mangas, seus tipos, utilizações, vantagens, fatores dificultadores e outros.

Considerando tratar-se de um estudo de caso em uma empresa de calcário do estado do Tocantins, seria imprudente não apresentar com maiores detalhes a empresa objeto deste estudo, cabendo ao *Capítulo 4 – Contextualizando a mineração no estado do Tocantins e apresentando a empresa Minerax*, este papel. Os capítulos seguintes, o *Capítulo 5 – Metodologia* e *Capítulo 6 – Resultados e Discussões*, apresentam os aspectos práticos e objetivos referentes ao estudo, com apresentação dos métodos de investigação utilizados e resultados encontrados. Por fim, o *Capítulo 7 – Considerações Finais* apresenta algumas reflexões relacionadas ao processo em questão, tal qual algumas possibilidades de ações a serem desenvolvidas capazes de promover melhorias/otimização do processo de um modo geral.

Diante do exposto, este trabalho tem como Objetivo Geral “Conhecer e analisar o processo de captura de particulados em uma empresa de calcário no estado do Tocantins, buscando a identificação de alternativas que promovam a otimização e/ou melhoria deste processo”, e como Objetivos Específicos: a) Conhecer os processos de captura de particulados mais usuais na atualidade em empresas de médio e grande porte no país e no mundo, mediante pesquisa bibliográfica; b) Conhecer e analisar o processo de captura de particulados em uma empresa de calcário do estado do Tocantins; c) Identificar os índices de perda de produtividade decorrentes da emissão de particulados no processo de moagem na empresa supracitada, e; d) Buscar a identificação de alternativas para otimização/melhorias do processo de captura de particulados na empresa em questão. Entende-se que o desenvolvimento de um trabalho desta natureza foi fundamental para a construção de conhecimentos e formação profissional, apresentando-se como uma excelente oportunidade

de ampliação de estudos e conhecimento da realidade, além de propiciar a aproximação do acadêmico com o mundo do trabalho, este que será seu maior desafio a partir deste momento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

*“A persistência é o menor caminho do êxito”*  
(Charles Chaplin)

### 2.1 Sobre os processos de mineração

Ao se propor o desenvolvimento de um estudo em qualquer área das ciências, é necessário que o objeto seja amplamente conhecido pelo pesquisador, suas particularidades e peculiaridades inclusive. Assim, visando melhor compreensão do objeto deste estudo, propõe-se uma breve análise teórica de como ocorrem os processos de mineração, suas falhas, acertos e perspectivas de melhorias e processo de beneficiamento de um modo geral, objetivando preparar o leitor para o que será abordado mais detalhadamente no capítulo seguinte - o processo de filtragem de material particulado concentrando-se na utilização do Filtro de Mangas. Desta forma, segue uma breve revisão teórica sobre esses processos que são fundamentais para Engenheiro de Minas, embasando-o desde o momento do planejamento até o acompanhamento cotidiano e/ou rotineiro dos mesmos.

#### 2.1.1 Prospecção e Pesquisa Mineral

O interesse de uma empresa por uma determinada área surge, em muitos casos, quando toma conhecimento da percepção empírica da população das redondezas de uma determinada localidade quanto à possibilidade de presença de minérios nesta. A partir daí, parte-se para uma pré-análise técnica de um Geólogo, o qual irá confirmar ou não estas informações, denominando-se esta fase de Prospecção Mineral (MOREIRA e ILHA, 2011).

O passo seguinte caracteriza-se pela realização da Pesquisa Mineral de fato, onde se confirmará a presença do minério, suas localidades, quantidades e teores o que, segundo Moreira e Ilha (2011), é feito mediante a utilização de “[...] métodos diretos (sondagem, amostragem de solo e rocha, análises químicas) e indiretos (análise de sensores remotos, métodos geofísicos)” (p.306).



É, portanto, fundamental que esta etapa seja bem executada, visto que o desenvolvimento e avanços da lavra dependerão dos resultados apresentados e erros durante esse processo poderão acarretar dificuldades na lavra e produção e, conseqüentemente, podendo gerar grandes perdas para a empresa.

### 2.1.2 Terraplanagem

Após verificação de que existe minério em determinada localidade, e tendo cumprido todas as etapas burocráticas de requerimento da área e autorização de lavra, se parte para as etapas de preparo da área para implantação da mina e da indústria. Segundo Ricardo e Catalani (2007), a terraplanagem, ou movimento de terras, é “[...] um conjunto de operações necessárias à remoção do excesso de terra para locais onde esta esteja em falta” (p.21), sendo essa etapa fundamental em quaisquer projetos de pequeno, médio ou grande porte da Engenharia, seja Civil ou de Mineração. No caso de processos de mineração, normalmente a destinação dos excessos resultantes do decapeamento, é para vias de acesso entre a mina e a fábrica, sendo que depois de finalizado esse processo, cria-se um local específico para destinação do capeamento (estéril), denominado “pilha de estéril”.

### 2.1.3 Planejamento Operacional de Lavra

Após todo o preparo da área e visando atender eficazmente as demandas de mercado, é necessário que as empresas de mineração possuam um planejamento estratégico de exploração do minério, o que requer grande conhecimento da área em questão. Normalmente o planejamento operacional da lavra é elaborado considerando-se 3 fases: curto, médio e longo prazo, o que poderá variar de empresa para empresa de acordo com suas necessidades e particularidades (ARAUJO e SOUZA, 2011).

### 2.1.4 Desmonte

O processo de desmonte de rocha, pode-se afirmar, é uma das principais etapas de exploração do minério, visto que a forma de sua condução irá determinar o rendimento dos

serviços aplicados. Como afirma Guimarães (2001, p. 241): “Com essa operação e seus custos pertinentes, pretende-se capacitar a extração do maior volume possível de rocha por furo, para que o custo por unidade de volume de material extraído seja compensado e sua fragmentação seja adequada”.

Esta etapa inicia-se, portanto, com a perfuração da rocha para carregamento dos explosivos a serem utilizados pela abertura “[...] de um furo em forma cilíndrica, denominado mina, no interior do qual serão depositados os explosivos que, quando acionados, responderão pela detonação e conseqüente extração da rocha” (GUIMARÃES, 2001, p.191). Esse processo poderá ser realizado de forma manual ou mecânica, sendo este último o predominante nos processos de exploração de minério mediante uso de perfuratrizes.

Após a perfuração o passo seguinte é o carregamento de cada furo com material detonante, sendo que a escolha deste será feita de acordo com as necessidades do material a ser desmontando, sendo comumente utilizados o IBEGEL, para carga de fundo (por conta de apresentar grande resistência à água e ótimas densidade de carregamento), e o ANFO, para carga de coluna (devido sua baixa densidade) (RICARDO e CATALANI, 2007).

Ressalta-se que todo o processo e material a ser utilizado nesta etapa devem constar previamente em um Plano de Fogo, elaborado por um Engenheiro de Minas responsável pelo caso, sendo necessário que conste “[...] os elementos que o compõem, cujos valores são estabelecidos pela prática e serão usados como valores iniciais para uma primeira bancada, podendo ser alterados se não for atingido o resultado desejado” (GUIMARÃES, 2001, p.242). Vale lembrar que o Plano de Fogo deve ser previamente autorizado pelos órgãos de controle de manuseio de explosivos e acessórios, neste caso, o Exército Brasileiro. Quaisquer erros que venham a ocorrer no processo de desmonte, e que coloquem em risco ou causem dano às pessoas envolvidas, o Engenheiro responsável responderá civil e criminalmente pelo fato ocorrido, conforme prevê a legislação vigente.

### 2.1.5 Carregamento e transporte

Para execução de diferentes serviços, inclusive de mineração, é necessário que se planeje adequadamente como ocorrerão os processos de carregamento e transporte de materiais; no caso dos processos de mineração, este se refere ao minério desmontado e estéril. Guimarães (2001), atenta para a importância de se conhecer as diferentes formas de execução para que os custos envolvidos sejam os menores possíveis.

Ressalta-se, ainda, a necessidade de ser minuciosamente elaborado um planejamento dos processos de carregamento e transporte, com vistas à otimização de tempo e recursos pois envolve:

[...] a seleção de frentes a serem lavradas, com seus respectivos ritmos de lavra, a alocação de equipamentos de carga para elas, bem como o número de viagens que cada caminhão deve fazer a cada frente [...]. Para a retirada de material (minério ou estéril) das frentes, considera-se uma frota limitada de equipamentos de carga, sendo que estes devem ser alocados às frentes de lavra e operarem em uma faixa de produtividade que torne economicamente viável sua utilização. Considera-se, ainda, que o transporte do material retirado de cada frente de lavra é realizado por uma frota de caminhões com capacidades de carga diferentes. Supõe-se o sistema de alocação dinâmica, isto é, a cada descarga de material, o caminhão pode ser direcionado a uma frente diferente onde haja um equipamento de carga compatível (ARAÚJO e SOUZA, 2011, p.70-71).

Esse planejamento pode proporcionar aumento na produtividade de frota e na capacidade de produção da mina, inclusive pela redução no número de equipamentos a serem alocados.

#### 2.1.6 Beneficiamento

Após etapa de carregamento e transporte dos minérios explotados, inicia-se a fase de tratamento destes minérios, caracterizando-se por uma série de operações que visam “[...] modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem contudo modificar a identidade química ou física dos minerais” (LUZ, SAMPAIO e FRANÇA, 2010, p.03).

Chaves (2007) acrescenta que esta série de operações, denominadas operações unitárias, constitui o circuito de beneficiamento, visto que sempre serão as mesmas, variando apenas suas combinações e seqüências. São elas: *a) Operações de Cominuição*, que objetivam a colocação adequada das partículas minerais, em termos de granulometria, para continuidade no processo de beneficiamento; *b) Operações de Concentração*, que são, basicamente, a separação de partículas de diferentes espécies; *c) Operações Auxiliares*, voltadas para o transporte dos diferentes produtos entre as operações unitárias, além de retirarem o excesso de água presente.

Vale lembrar que as formas de processo de beneficiamento estão condicionadas ao tipo de minério a ser beneficiado, como: primeira britagem, segunda britagem, processos de separação granulométrica (peneiramentos), moagem, flotação, entre outros.

Após o beneficiamento do minério, pode se requerer outros tratamentos antes de sua comercialização, como é o caso do ferro, por exemplo, que ainda terá que passar por processos de forno e outros processos siderúrgicos, ou estar pronto para comercialização, como é o caso do calcário, objeto de estudo deste trabalho.

### 2.1.7 Aspectos Ambientais

O campo da mineração, de um modo geral, é de grande importância econômica e social para o desenvolvimento de um país; no caso da produção de brita siderúrgica isso ainda reflete o fornecimento de matérias-primas básicas para as indústrias siderúrgicas e construção civil. No entanto, “[...] a implantação de empreendimentos mineiros implica não só em benefícios, mas também em impactos adversos ao meio ambiente provocados por resíduos decorrentes do ambiente de trabalho, além de, muitas vezes, oferecer um ambiente desfavorável para os trabalhadores” (RODRIGUES et al, 2005, p.38).

Em relação aos aspectos ambientais relacionados ao processo de mineração, tem sido crescente a conscientização sobre a real necessidade de maior controle tanto quanto ao uso dos recursos naturais disponíveis quanto da poluição advinda destes processos. Já na década de 80 foi criada a Política Nacional do Meio Ambiente, criada pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981<sup>1</sup> e posteriormente alterada pela Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000<sup>2</sup> e complementada em 2011 através da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011<sup>3</sup>. De um modo geral, pode-se afirmar que tal legislação tem como objetivo principal assegurar que o desenvolvimento sócio-econômico do país ocorra garantindo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental necessária à manutenção da vida, além da proteção às áreas já ameaçadas de degradação. Assim, de acordo com BEM (2006), o artigo 10º da Lei 6.938 prevê que:

[...] a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades usuárias de recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação

<sup>1</sup> Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências

<sup>2</sup> Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000, altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

<sup>3</sup> Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do **caput** e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

ambiental, dependerão de prévio licenciamento por órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), sem prejuízo de outras licenças exigíveis (p.28).

Vale lembrar que o não cumprimento pela empresa das determinações legais vigentes pode acarretar em diferentes punições, conforme previsto no Capítulo V – Dos crimes contra o meio ambiente, Seção III – Da poluição e outros crimes ambientais, da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998<sup>4</sup>, cabendo ao CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente) a fiscalização efetiva das empresas (BEM, 2006).

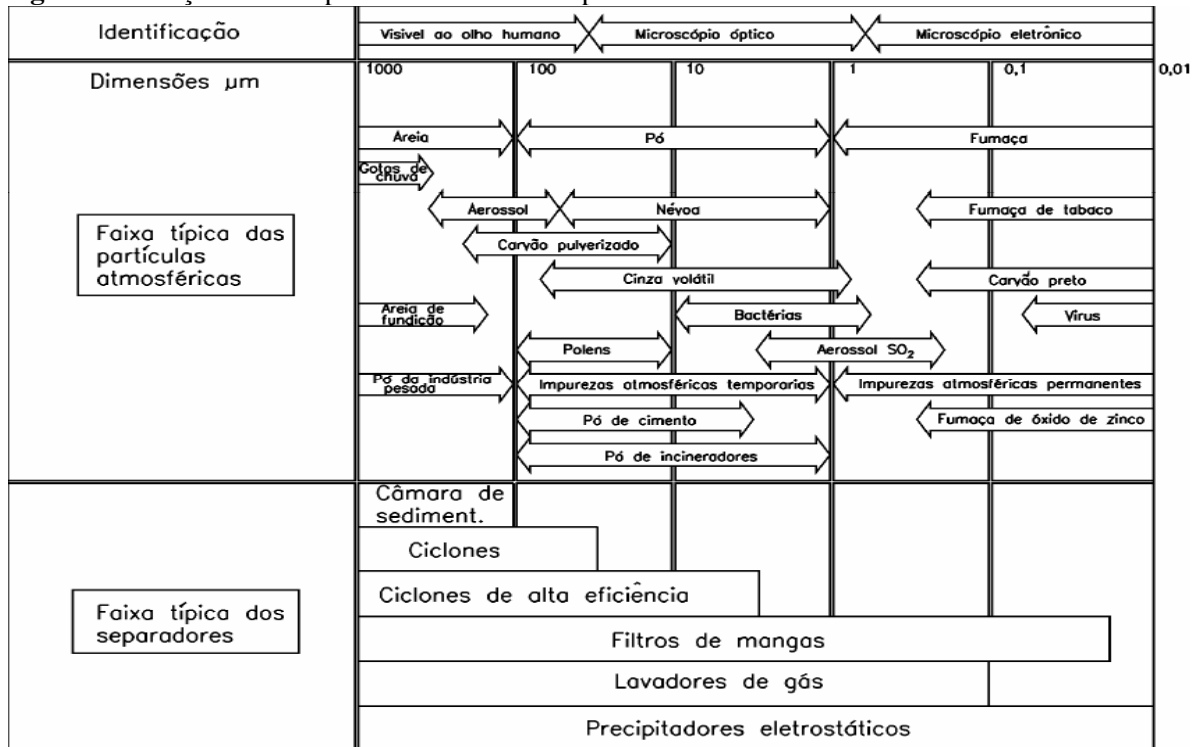
Neste sentido, as empresas produtoras de calcário, em decorrência das instalações e processos produtivos – potencialmente poluidor sob os aspectos de ruído e de emissão de particulados, devem permanecer atentas a estes aspectos, revisando procedimentos e buscando garantir não só a qualidade do produto oferecido mas também a qualidade das condições ambientais e ocupacionais em que este produto é desenvolvido.

## **2.2 Filtragem de particulados e utilização do Filtro de Mangas**

O processo de beneficiamento, via de regra, envolve a cominuição dos materiais envolvidos a fim de alcançar a granulometria desejada. Este se constitui, portanto, o fator que determinará qual o tipo de separador a ser utilizado em cada caso, visto que existem diferentes tipos de materiais particulados emitidos os quais se diferenciam pelas dimensões, densidade e concentração das partículas, entre outros. Segundo Lora (2000), os equipamentos mais utilizados na separação/filtragem e controle de materiais particulados são os Separadores Ciclônicos, os Separadores Úmidos, os Filtros Eletrostáticos e os Filtros de Mangas, sendo possível verificar a relação entre estes e as dimensões dos materiais particulados conforme a Figura abaixo:

---

<sup>4</sup> Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

**Figura 1:** Relação entre Separadores e materiais particulados

Fonte: Lodge Sturtevant Ltda apud Lora (2000, p.75).

Considerando-se que o objeto deste estudo relaciona-se com a emissão de particulados decorrentes do processo de beneficiamento de calcário, serão abordados apenas os aspectos relativos ao controle de poeira oriunda desse processo, especialmente após passagem pela moagem.

Para isso, utiliza-se como embasamento teórico a definição de poeira como todo e qualquer particulado suspenso no ar com potencial de nocividade à saúde humana, assim como acrescenta Saliba (2010, p.14): “De forma ampla, o material particulado contaminado é todo aquele aerossol que se encontra em suspensão no ar e que pode ser nocivo à saúde”. Mais adiante o autor ainda acrescenta tratar-se de: “[...] partículas sólidas produzidas por ruptura mecânica de um sólido, seja pelo simples manuseio (limpeza de bancadas), seja em consequência de uma operação mecânica (trituração, moagem, peneiramento, polimento, dentre outras)” (p.14).

Neste tipo de mecanismo a poeira é uma consequência inevitável, seja qual for a forma de cominuição adotada, sendo notável a necessidade de uma gestão que priorize tanto maior segurança e conforto para os trabalhadores envolvidos no processo, quanto que seja capaz de solucionar os gargalos de perdas de produção, foco principal deste trabalho. Um dos procedimentos para solução deste gargalo é a clausura do material particulado, procedimento largamente utilizado em produção de minérios notadamente prejudiciais à saúde, como no

caso do beneficiamento do amianto; embora bastante dispendiosa e em boa parte dos casos economicamente inviável, trata-se de uma das medidas mais eficazes no controle de particulado, cabendo a reflexão quanto as possibilidades de sua utilização.

Outra medida bastante utilizada para controle de particulado e principalmente para melhoria do processo está no uso do Filtro de Mangas, o qual também é eficaz e, na maioria dos casos, de maior viabilidade econômica; como exemplo, cita-se seu uso justamente no beneficiamento do calcário, objeto deste estudo.

Outro fator muito importante para o controle de particulado e sua recuperação para o processo, trata-se do uso de equipamentos auxiliares para este controle, os quais auxiliam os equipamentos primários visando seu melhor funcionamento e rendimento. Como exemplo tem-se o umidificador, muito utilizado para aumentar a densidade do material, diminuindo as perdas para o meio externo e facilitando as formações dos silos. Pode-se citar, ainda, o exaustor, equipamento que auxilia diretamente o Filtro de Mangas, ajudando-o na recuperação do material particulado por ele despercebido; por sua importância no beneficiamento de calcário, este equipamento será mais detalhadamente abordado no capítulo seguinte deste trabalho.

Atenta-se para o fato de que separadamente todos os equipamentos têm sua importância para o bom andamento do processo e micro-processo. No entanto, é fundamental ressaltar o valor de se considerar o conjunto, a soma de todas as partes que compõem um sistema, seu arranjo geral, diminuindo ou adicionando equipamentos de acordo com as necessidades e viabilidade.

### 2.2.1 Filtro de Mangas

Apesar de existirem diferentes processos de filtração de materiais, no caso de materiais sólidos parte-se do princípio básico da separação mecânica dos particulados mediante a passagem destes através de um tecido que, após determinado período, formará uma camada de pó na superfície do material filtrante, denominada torta de filtração. Nunes (2011) ressalta que:

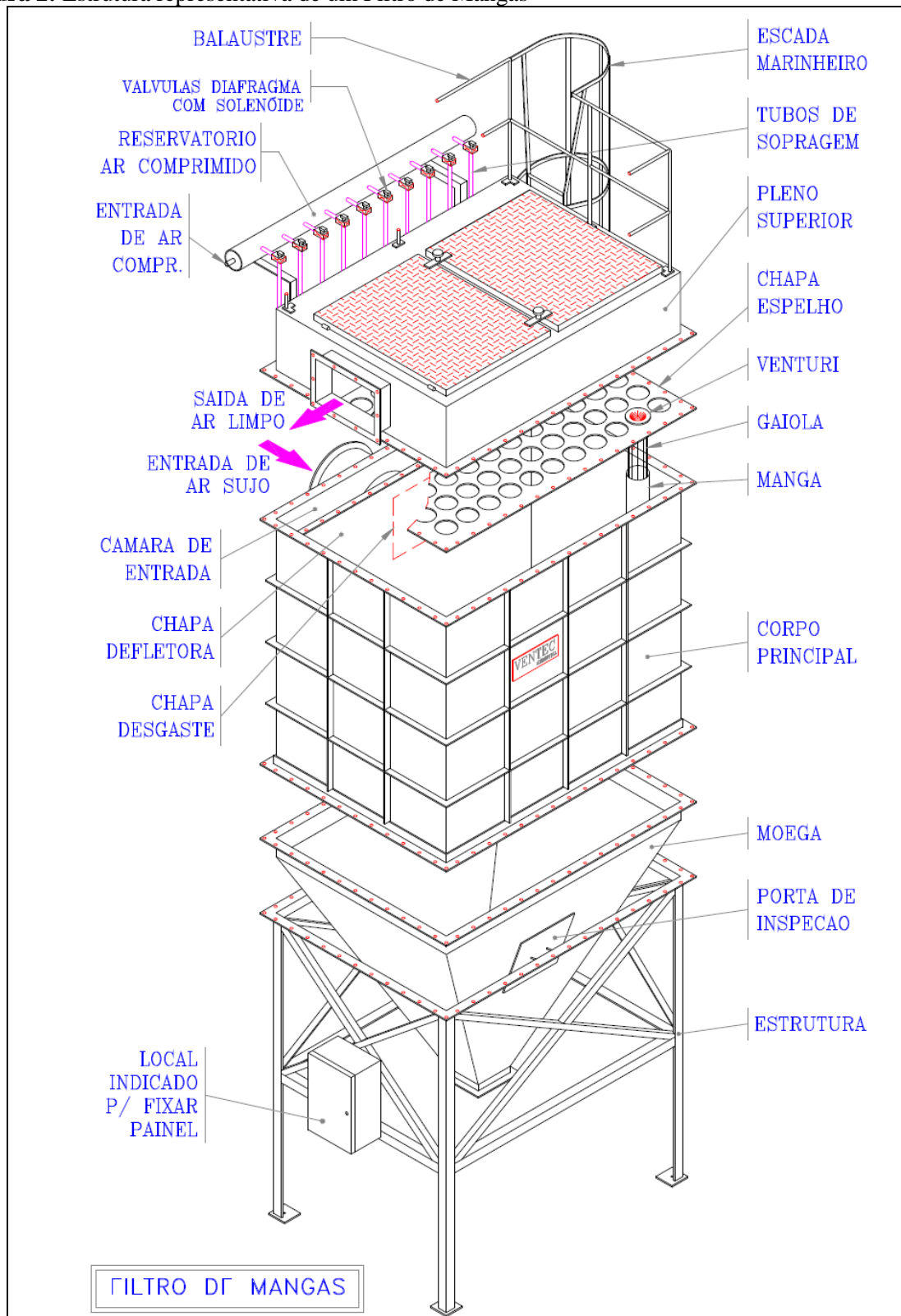
Durante o operação de filtração, a queda de pressão no meio filtrante consiste em uma importante variável para o desempenho dos meios filtrantes, pois aumenta à medida que aumenta a espessura da torta de filtração, atingindo o valor máximo estabelecido de acordo com as condições de operação e condições econômicas, tornando necessária a remoção periódica da camada de pó formada (p.01).

Especificamente no caso do beneficiamento de calcário na produção de corretivo de solo, requer-se a utilização de um Filtro de Mangas devido a quantidade de material particulado produzido durante a moagem. De modo geral, trata-se de um equipamento de separação de partículas onde o material carregado passa por filtros (no formato de cortinas de tecido denominadas "mangas"), retendo em suas fibras a poeira decorrente do processo produtivo.

Seu funcionamento ocorre pela captura de partículas excedentes soltas no ar, as quais fogem do processo produtivo, contribuindo não só para a poluição do ar (o que por si só apresenta-se como fator de risco ocupacional dos trabalhadores da empresa), mas também para perda de produção para a empresa e, conseqüentemente, diminuição de material comercializável.

O equipamento é composto basicamente por três partes: a) ***Plenum Superior***, desenvolvido com o objetivo de proteger o sistema de limpeza e vedação das mangas; b) ***Corpo Central***, onde se localizam as mangas e onde ocorre de fato o processo de filtração, e por fim; c) ***Moega de Recolhimento*** das impurezas filtradas. A Figura 1, abaixo evidencia um esquema simplificado de um Filtro de Mangas:



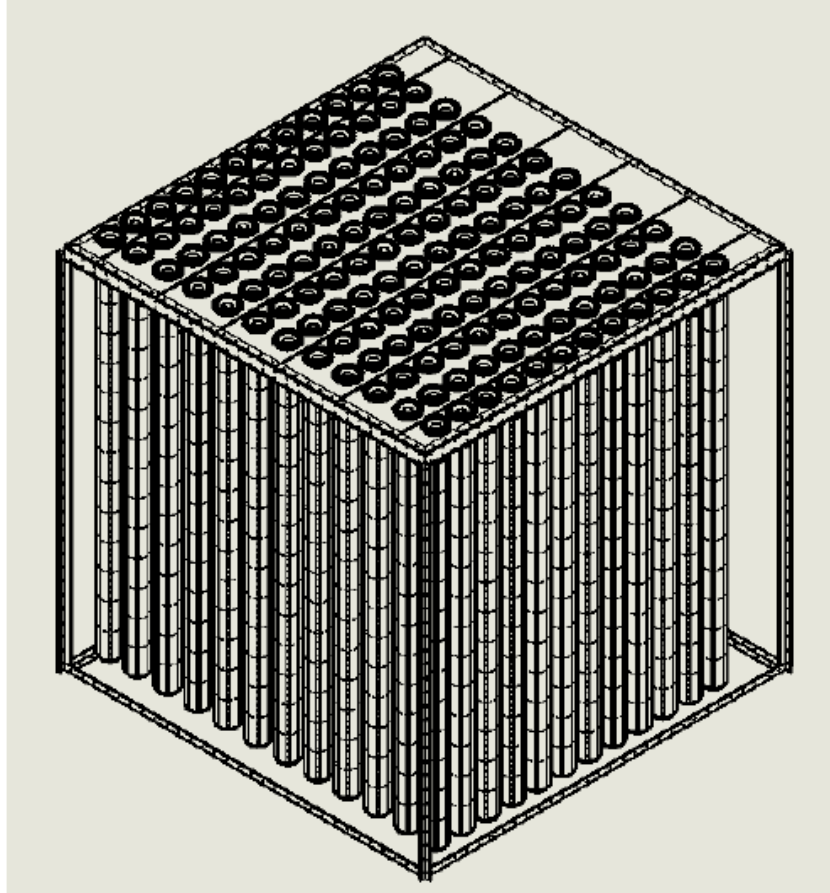
**Figura 2:** Estrutura representativa de um Filtro de Mangas

Fonte: Ventec Ambiental (2008, p.04)

Neste equipamento, como já foi citado, o processo de filtragem é realizado pela retenção de partículas nas chamadas Mangas – cortinas de tecidos que podem ser feitas de

diferentes materiais, formas de organização das fibras e tamanhos dos filtros. Além disso, segundo Furieri e Castilho (2009), os arranjos das mangas nas câmaras de mangas pode ser feito de diferentes maneiras e diferentes sentidos do fluxo do ar.

**Figura 3:** Estrutura representativa da distribuição das mangas de um Filtro de Mangas



Fonte: Datasilus apud Batistoni (2011, p.25)

Furieri e Castilho (2009, p.53) acrescentam que:

Ao reter as partículas em suas fibras por impactação ou intercepção as mangas dão suporte para uma camada de poeira que se acumula em sua superfície. A camada de poeira que se forma contribui para a filtração de particulado, pois promovem a filtração de partículas menores que aquelas possíveis de se filtrar pelas fibras do tecido, aumentando assim a eficiência na filtração de partículas menores. A participação desta camada de poeira na filtração do particulado varia de acordo com o tipo da fibra.

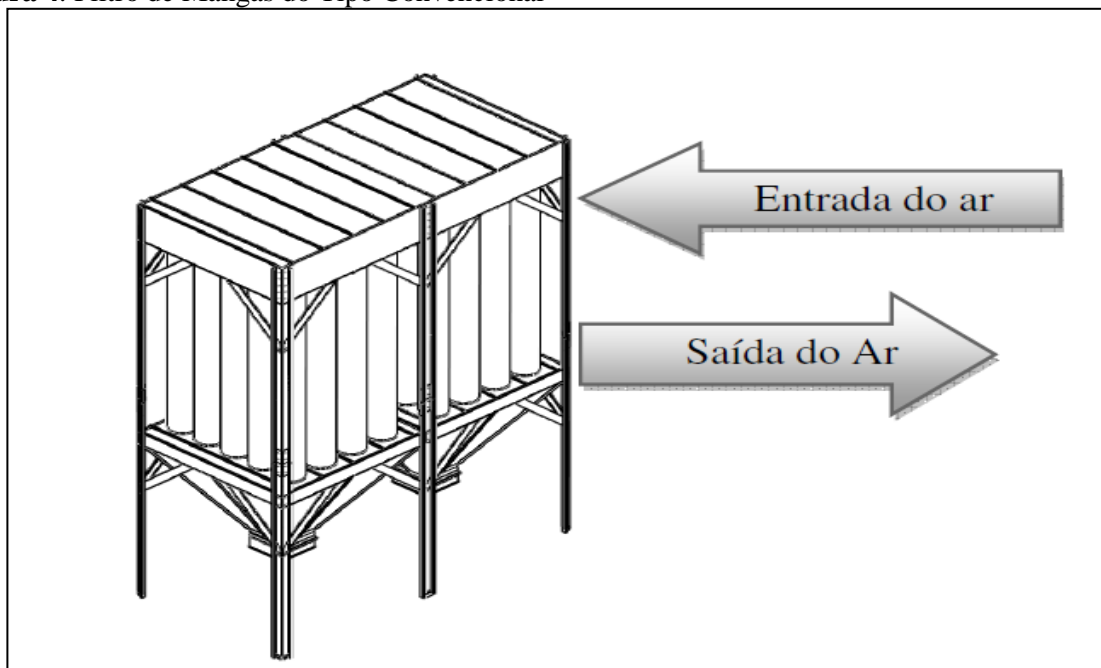
É importante ressaltar que a retenção contínua de material particulado acarretam um acúmulo excessivo deste material nas mangas, o que exige um processo de limpeza eficiente, já que se isso não ocorrer o entupimento será inevitável, o que poderá causar danos não só ao processo de filtração como também ao equipamento em si. Desta forma, é fundamental que se faça a limpeza para retirada da poeira acumulada, existindo vários métodos possíveis para

isso, sendo os mais comuns: *a) Filtros de ar reverso; b) Jato Pulsante*, e; *c) Sacudimento Mecânico*. Ressalta-se que são basicamente as características de limpeza das mangas que diferenciarão os tipos de Filtros de Mangas existentes atualmente.

De acordo com Batistoni (2011), atualmente existem diferentes tipos de Filtros de Mangas no mercado, sendo os mais usuais os seguintes:

- **Filtro de Mangas do tipo Convencional:** o qual apresenta um funcionamento mais simples em que o ar entra através do *Plenum* superior, sendo forçado a passar através das mangas montadas (do tipo duto). Após limpo, o ar é novamente liberado para o ambiente, restando nas mangas as impurezas e, posteriormente, depositadas no funil de coleta. Neste tipo de Filtro de Mangas “[...] não é disponibilizado a limpeza automática das mangas onde as mesmas devem ser constantemente limpas manualmente com auxílio de varetas” (BATISTONI, 2011, p.5). Além disso, usualmente este tipo de Filtro de Mangas exige que sua instalação seja feita em ambiente interno, longe das ações do tempo como chuva, sol, ventanias, etc.

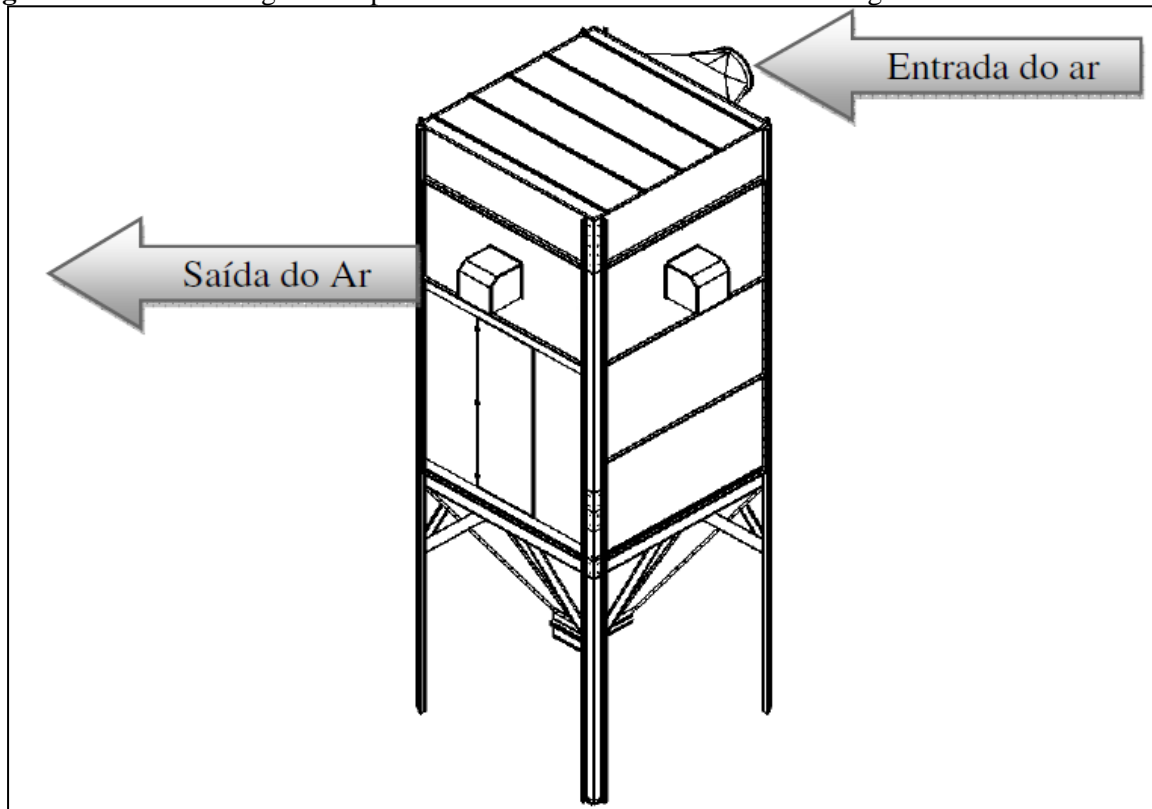
**Figura 4:** Filtro de Mangas do Tipo Convencional



Fonte: Batistoni (2011, p.6)

É importante ressaltar que, caso o Filtro de Mangas deste tipo fique exposto à ação do tempo (em ambiente externo), as mangas devem ser devidamente isoladas para garantir o seu bom funcionamento, como segue abaixo:

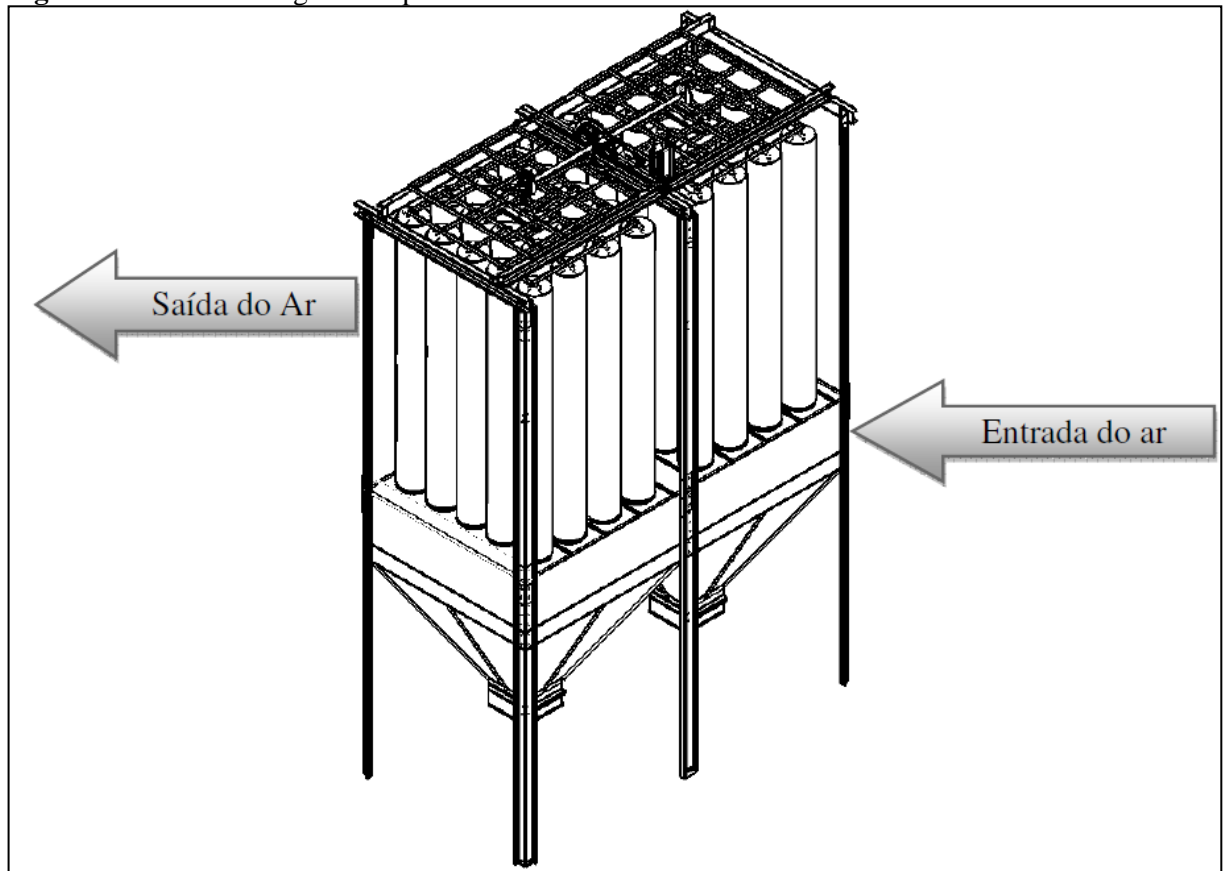
**Figura 5:** Filtro de Mangas do Tipo Convencional com isolamento das mangas



Fonte: Batistoni (2011, p.6)

- **Filtro de Mangas do Tipo Acionamento Mecânico:** de modo contrário ao anterior, neste tipo de Filtro de Mangas o ar contaminado entra no sistema através do *Plenum* inferior (acima do funil de acúmulo de material). Em seguida, este ar é forçado a passar pelas mangas, liberando apenas ar filtrado sem impurezas sólidas (BATISTONI, 2011). O autor ainda acrescenta que, neste caso, a limpeza das mangas ocorre via acionamento mecânico, em que elas recebem uma força externa que as movimentam e, conseqüentemente, deslocam para a coifa o material excedente. A figura abaixo exemplifica este tipo de Filtro de Mangas:

**Figura 6:** Filtro de Mangas do Tipo Acionamento Mecânico



Fonte: Batistoni (2011, p.7).

- **Filtro de Mangas do Tipo Pulse-Jet:** este é o tipo de Filtro de Mangas mais usualmente conhecido, também denominado Jato Pulsante. Neste equipamento o ar poluído é forçado a passar “[...] por meio filtrante cilíndrica ou plissado, especialmente selecionado de acordo com as características físico-químicas do material particulado e do ar, desta forma, pó, fumos e fumaças ficam retidos na superfície externa das mangas” (BATISTONI, 2011, p.4). Em seguida o ar limpo do filtro é novamente recolocado na atmosfera. Desta forma, existe uma câmara limpa e uma câmara suja, conforme evidenciado na figura.

Já desenvolvido para operar em condições rígidas e contínuas, possui um sistema automático de limpeza das mangas, onde:

O princípio de funcionamento consiste na introdução do ar contaminado no corpo central do filtro, através de antecâmara lateral devidamente dimensionada no sentido de evitar o choque direto do particulado com as mangas, assim como, reduzir a velocidade do fluxo e precipitar, por efeito de gravidade, o particulado de maior granulometria. O ar, ainda contaminado, é então conduzido para o interior do corpo central e forçado a passar através das mangas de filtragem, local de retenção do particulado ainda em suspensão. Na sequência o ar, já isento de impurezas, passa para o plenum superior, saindo do filtro por meio de bocal (ais) localizado(s) em uma de suas laterais (VENTEC AMBIENTAL, 2008, p.03).

Conforme exposto, o processo de filtração através deste tipo de equipamento possibilita, ainda, a recuperação do material particulado (poluidor do ar), visto que este cairá na Moega, sendo possível a sua devolução ao sistema. Em um mesmo processo tem-se a limpeza do ar a ser devolvido para a atmosfera e diminuição das perdas produtivas pela devolução de boa parte do minério beneficiado. Assim, de um modo geral pode-se afirmar que uma das vantagens deste tipo de equipamento é o fato de a limpeza de algumas mangas ocorrer enquanto o ar em fluxo continua a fluir através das mangas. Além disso, como não possui compartimentos e mangas extras, seu tamanho e custo são reduzidos (FURIERI e CASTILHO, 2009).

**Figura 7:** Esquema para identificação das partes de um Filtro de Mangas do Tipo *Pulse Jet*, sem as mangas



Fonte: Pacheco (2007b, p.3).

Quanto ao funcionamento deste equipamento, Pacheco (2007a), afirma que são basicamente três as situações de funcionamento de um Filtro de Mangas:

**a) Subutilização do Filtro de Mangas**, que ocorre devido a baixa quantidade massica de material particulado capturado, provocando um baixo rendimento do equipamento e, conseqüentemente, aumentando a perda de carga. Segundo o autor, as principais causas desta perda são:

- Falha de projeto do Filtro (falta de manômetro para controle da perda de carga, sistema de limpeza mal dimensionado; excesso de velocidade ascendente; ângulos da tremonha inadequados, excesso de relação ar-pano, má distribuição do particulado entre as mangas ou entre as câmaras do filtro, etc.);
- Falha de Especificação da Manga Filtrante (...);
- Falha de Operação do Filtro (regulagem do sistema de limpeza excessiva ou insuficiente...);
- Falha de Manutenção do Filtro (mangueiras entupidas/desconectadas do manômetro, entrada de ar-falso por buracos na chaparia ou falha de vedação da válvula de descarga, válvulas solenóides inoperantes, etc.) (PACHECO, 2007a, p.35);

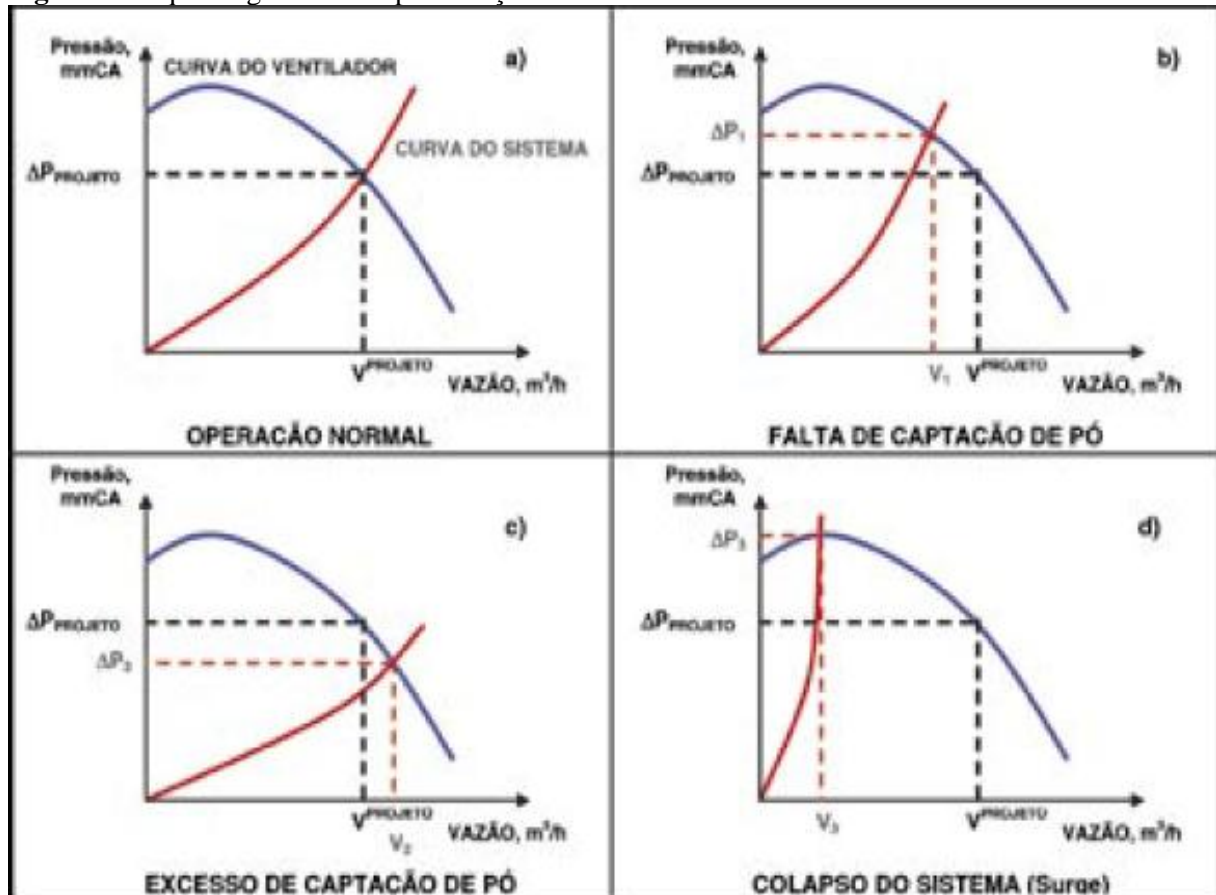
**b) Funcionamento Normal do Filtro de Mangas**, que seria a situação perfeita em que a quantidade massica do material particulado é compatível com o filtro dimensionado.

**c) Excesso de Captação de Material Particulado**, podendo provocar o entupimento das mangas e causando a diminuição da captura e/ou um colapso no funcionamento do Filtro de Mangas. Interessante observar que, à primeira vista pode-se entender que quanto maior a vazão do sistema de filtração melhor a captação dos particulados, visto que também aumentará a velocidade de sucção do material particulado. No entanto, isto poderá ocasionar Manutenções Corretivas desnecessárias, como ressalta Pacheco (2007a, p.36):

Se o particulado for abrasivo, ele pode produzir o mesmo efeito que um jato de granalha, desbastando e até furando os dutos [...]. Além disso, em se tratando de filtração em profundidade como a produzida por mangas constituídas de não-tecido tipo feltro agulhado é fundamental a existência de pré-capa de particulado para obtenção de uma boa filtração de particulados com baixa granulometria. Um excesso de limpeza pode dificultar sobremaneira esta formação pré-capa levando a uma ineficiência de filtração [...].

A figura a seguir evidencia graficamente as situações acima citadas:



**Figura 8:** Esquema gráfico de representação da Pressão x Vazão

Fonte: Pacheco (2007a, p.34)

Uma medida simples de manutenção preventiva do funcionamento de um Filtro de Mangas é a limpeza periódica das mangas, pois o simples entupimento das mesmas pode comprometer todo o funcionamento do sistema. Além disso, deve-se verificar periodicamente o sistema de ar comprimido, o qual auxilia no processo de limpeza automática e constante das mangas.

### 2.2.2 Serviço de Ar Comprimido

O método de limpeza por jatos pulsantes tem sido amplamente utilizado nas indústrias na atualidade. No entanto, apresenta algumas desvantagens: “Devido ainda haver fluxo de gás dentro da manga quando o pulso de ar agita o tecido, muito da poeira que é capturada pelo filtro é ressuspensa e retorna para a mesma manga, ou para a manga vizinha, sendo refiltrado” (FURIERI e CASTILHO, 2009, p.57). Com isso, também se limitava o comprimento das



mangas, considerando-se a rapidez com que o pulso de ar dissipa suas energias, sendo que à princípio, mesmo as mangas mais curtas não eram devidamente limpas.

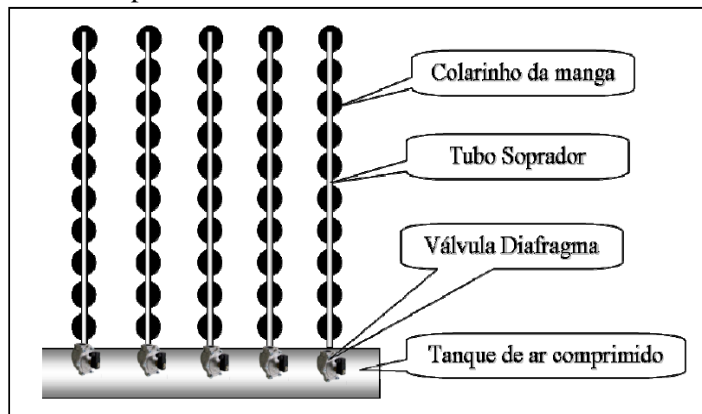
Diante do exposto, tornou-se necessário o desenvolvimento de alternativas de resolução deste problema, o que se tornou possível mediante uso de um tubo difusor (cilindro metálico perfurado) inserido e ajustado dentro das mangas, capaz de induzir um pulso de ar que se propaga com menor dissipação (sistema de ar comprimido). Para Furieri e Castilho (2009, p.57): “O uso de ar comprimido é a principal despesa da operação neste tipo de filtro. Tipicamente, a vazão volumétrica do ar comprimido é cerca de 0,2% a 0,8% da vazão do ar filtrado quando os dois estão corrigidos na mesma temperatura e pressão”.

Acrescenta-se que o sistema de ar comprimido é um conjunto formado por: *a) Tubos de passagem do ar*, localizados dentro das mangas; *b) Controladores de liberação do ar comprimido*, responsáveis pelo comando de pulso elétrico para as válvulas solenóides, e; *c) Válvulas Solenóides*, responsáveis pela liberação e interrupção do ar comprimido. A

**Figura 9:** Sistema de limpeza com vista frontal e em planta



Fonte: Batistoni (2011, p.15)



Fonte: Pacheco (2007a, p.38)

Neste sentido, salienta-se o papel das Válvulas Solenóides, visto que seu controle pode ser realizado de duas maneiras distintas, as quais determinarão o momento de liberação e interrupção do ar comprimido. Segundo Pacheco (2007a), esse controle pode ocorrer:

- **Por Demanda de Tempo:** quando o controle das válvulas é previamente programado para acionar cada uma das válvulas solenóides de forma seqüencial em determinado período de tempo, independentemente da quantidade de material já acumulado nas mangas. Vale ressaltar tratar-se de um duplo temporizador, no qual se determina de quanto em quanto tempo as válvulas serão acionadas e por qual a duração do pulso.

- **Por Demanda de Pressão:** quando o controle das válvulas é previamente programado para acionar as válvulas solenóides quando atingir uma determinada pressão interna no corpo do Filtro de Mangas, tal qual quando deverá ser interrompido, também considerando-se a pressão interna exercida. Assim, determina-se um valor máximo e mínimo de pressão que deve ser contínuo no equipamento.

**Figura 10:** Modelo de reservatório de ar comprimido



Fonte: Pacheco (2007a, p.38)

**Figura 11:** Modelo de Válvulas Solenóides com conexão tipo rosca e tipo baioneta (de engate rápido)



Fonte: Pacheco (2007a, p.37)

### 2.2.3 Exaustor

Como demonstrado acima, apesar de costumarem ser bastante eficazes, em muitos casos o Filtro de Mangas não é capaz de capturar todo o material particulado produzido durante a moagem. Com isso, torna-se fundamental o uso de exaustores que lhe auxiliam na

captura destes materiais, tão grande costuma ser a emissão de particulados, especialmente no que se refere a produção de corretivo de solo.

Os exaustores são fundamentais para o bom funcionamento e eficiência do processo de filtragem, auxiliando na plena captura do particulado excedente e despercebido pelo Filtro de Mangas, não permitindo que este material se perca pelo vento e devolvendo-o para o sistema. Com isso, pode inclusive evitar uma sobrecarga do Filtro de Mangas, fazendo com que este não receba material particulado em demasia.

#### 2.2.4 Emissão de particulados e implicações para saúde e segurança dos trabalhadores

Os trabalhadores que atuam em mineradoras, em geral, estão constantemente expostos a diversos riscos, passíveis de acidentes de trabalho e de desenvolvimento de doenças ocupacionais advindas tanto do excesso de ruídos quanto pela emissão de particulados no ambiente. Diante disto, mesmo não sendo objetivo deste estudo se aprofundar nas questões relacionadas à saúde e segurança dos trabalhadores, dada sua importância é imprescindível citá-los, mesmo que brevemente, atentando-se especialmente para os riscos decorrentes da emissão de particulados.

É de conhecimento que o ar poluído, em decorrência das atividades de mineração, quando inalado, pode alterar permanente ou temporariamente o sistema respiratório do ser humano, sendo que essas alterações dependerão basicamente das características químicas e do tamanho das partículas, além do tempo de exposição e da quantidade de material particulado inalado (RODRIGUES et al, 2005; CAMARGO, 2007).

De acordo com o Ministério do Trabalho e Organização Internacional do Trabalho (OIT), as atividades de mineração estão incluídas entre as de maior insalubridade e periculosidade, apresentando um grau de risco 04,

- [...] podendo ocasionar graves danos à saúde do trabalhador, como por exemplo:
- Alta incidência de doenças respiratórias devido à liberação de dióxido de enxofre, monóxido de carbono (máquinas), e outros gases (explosivos);
  - A *antracossilicose* - Pneumoconiose nos mineiros das minas de carvão;
  - Asma ocupacional e bronquite industrial (JUNIOR e MADEIRA, 2005, p.12).

Saliba (2010), acrescenta que os danos à saúde provocado pela poeira no organismo humano pode ser classificado da seguinte maneira: **a) *Pneumoconiótica***, quando capaz de provocar algum tipo de pneumoconiose, como por exemplo a silicose e a asbestose, doença

crônica que não tem cura e apresenta manifestações tardias, entre 5 a 8 anos após a exposição às poeiras; **b) Tóxica**, quando causa enfermidade tanto por inalação quanto por ingestão de materiais como o chumbo, mercúrio, manganês, entre outros; **c) Alérgica**, como nos casos de contato e/ou inalação de poeira de madeira, entre outras; **d) Inerte**, quando desenvolve doenças consideradas mais leves e reversíveis, como no caso das bronquites e resfriados.

No caso da emissão de particulados decorrentes do processo de moagem de calcário, o principal tipo de agente químico presente é a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), causador de Silicose, enfermidade já conhecida no meio da mineração por conta de seu alcance e impactos sobre o organismo. Saliba (2010, p.17) ressalta que:

A exposição ocupacional à poeira contendo sílica ocorre em diversos ambientes de trabalho e ramos de atividade, tais como: mineração de ouro, ferro, extração de calcário, dentre outros. Nessas indústrias tanto na extração como no beneficiamento, há presença de particulados que podem conter sílica. Outros ramos de atividade em que há presença de poeira sílica: construção civil, fundição, indústria de refratários, siderúrgicas.

Vale destacar que a preocupação com a saúde do ser humano, exposto constantemente a fatores de risco decorrentes da emissão de particulados não é de hoje; pelo contrário, reconhece-se a necessidade de proteção respiratória do trabalhador desde os primeiros séculos da era cristã, evoluindo os modelos, técnicas e tecnologias empregadas desde então. Apenas à título elucidativo, a tabela abaixo reflete a evolução da proteção respiratória ao longo dos séculos:

**Tabela 1:** Evolução da proteção respiratória ao longo dos séculos

| Período      | Condição ou evento   |
|--------------|--|
| 79 – 23 a.C. | Plínio menciona o uso de bexiga animal como cobertura das vias respiratórias sem vedação facial para proteção contra inalação do óxido de chumbo nos trabalhos dentro das minas.   |
| 1452 – 1519  | Leonardo da Vinci recomendou o uso de um pano molhado contra agentes químicos no caso de guerra química. Outra de suas idéias foi o uso de um “snorkel” ligado a um tubo longo que flutuava na superfície da água permitindo mergulhos demorados.  |
| 1633 – 1714  | Bernardino Ramazzini apresenta uma revisão crítica sobre a inadequada proteção respiratória dos mineiros de seu tempo que trabalhavam com arsênico, gesso, calcário e de trabalhadores que manipulavam tabaco, cereais em grão, ou cortadores de pedra.  |
| 1700 – 1800  | Na área de Equipamentos autônomos, havia na Europa, um equipamento feito de saco de lona e borracha.   |
| 1863 – 1874  | Nos Estados Unidos foi patenteado algo semelhante. Consistia de uma saco de múltiplas camadas de lona impermeabilizada com borracha da Índia que era enchido de ar por meio de uma bomba e era portado nas costas com um sistema de tubos que conduzia o ar à boca, o nariz era fechado com uma pinça nasal e a língua fazia as funções de uma válvula no controle do fluxo de ar. |
| 1800 – 1850  | Na fase mais intensa da Revolução Industrial, começou-se a fazer diferença entre os contaminantes particulados e gasosos, anteriormente reconhecidos somente como “poeira”.  |
| 1825         | John Roberts desenvolveu o “filtro contra fumaça” para bombeiros, um capuz de couro com um tubo preso na perna do usuário que captava o ar menos contaminado que estava próximo ao solo.   |
| 1778 – 1829  | O químico inglês Humphry Davy desenvolveu uma lanterna, que recebeu o nome de <i>Lanterna de Davy</i> . Na qual, havia uma chama interna que indicava falta de oxigênio ou presença de gás explosivo no ambiente.  |
| 1854         | Provavelmente o desenvolvimento mais significativo dos últimos séculos foi a descoberta da capacidade do carvão ativo em remover vapores orgânicos e gases do ar contaminado.  |
| 1914 – 1918  | Período em que os avanços mais rápidos de proteção respiratória deram-se com as máscaras de uso militar.   |
| 1930         | Hansen desenvolveu um filtro altamente eficiente contra particulados que usava lã animal impregnada de resina, com eficiência em torno de 99,99%.  |
| 1939 – 1945  | Com a Segunda Guerra Mundial novas técnicas, novos materiais e, portanto, novos problemas foram surgindo, mas também novas soluções foram sendo encontradas.   |
| 1973 – 1987  | Foram ministrados os primeiros cursos de proteção respiratória destinados aos clientes, incluindo treinamentos e monitoramento de agentes químicos.  |
| 1989         | Formada a Comissão de Estudos de Proteção Respiratória no CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil, junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).   |
| 1994         | O Ministério do Trabalho publica a Instrução Normativa nº 1 em 11 de abril, que obriga a seleção e o uso de respiradores dentro do contexto de uma publicação da Fundacentro intitulada <i>Programa de Proteção Respiratória – Recomendações, seleção e uso de respiradores</i> .  |
| 1996         | A comissão de estudos, constituída por profissionais ligados à área de proteção respiratória, do governo, usuários, fabricantes e outros interessados, passou a fazer parte do CB-32 – Comitê Brasileiro de Equipamentos de Proteção Individual.   |

**Fonte:** SANT’ANA et al (s/d, p.907-908)

Conforme exposto, o avanço na busca por melhores condições de trabalho especialmente no que se refere à proteção respiratória do trabalhador avançou significativamente ao longo dos anos. Em âmbito nacional, este avanço culminou no

desenvolvimento da Instrução Normativa nº 01, de 11 de abril de 1994<sup>5</sup>, a qual regula o uso de equipamentos de proteção respiratória por parte das empresas.

Vale lembrar que além da Instrução Normativa supracitada, as atividades de mineração devem ser desenvolvidas de acordo com a Norma Regulamentadora 22<sup>6</sup>, que disciplina os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho em que se desenvolvem atividades de mineração, buscando permanentemente manter a saúde e segurança do trabalhador.

Evidencia-se, portanto, que o desenvolvimento de atividades de mineração deve voltar-se não somente a otimização/melhoria dos processos desempenhados, mas também para a melhoria das condições de trabalho, garantindo-se a saúde e segurança do trabalhador.

---

<sup>5</sup> Instrução Normativa SSST/MTB nº 01, de 11 de abril de 1994. Estabelece o regulamento técnico sobre o uso de equipamentos para Proteção respiratória.

<sup>6</sup> Norma Regulamentadora 22(NR-22) – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, Publicada pela Portaria GM nº 3214, de 08 de junho de 1978, posteriormente atualizada/alterada pelas portarias: Portaria GM nº 2.037, de 15 de dezembro de 1999 20/12/99; Portaria SIT nº 33, de 26 de dezembro de 2000 27/12/00; Portaria SIT nº 27, de 01 de outubro de 2002 03/10/02; Portaria SIT nº 63, de 02 de dezembro de 2003 04/12/03; Portaria SIT nº 70, de 12 de março de 2004 17/03/04; Portaria SIT nº 202, de 26 de janeiro de 2011.

### 3 CONTEXTUALIZANDO A MINERAÇÃO NO ESTADO DO TOCANTINS E APRESENTANDO A EMPRESA MINERAX

*“O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são”*  
(Aristóteles)

O Estado do Tocantins, criado em 1988, possui 139 municípios e ocupa uma área de aproximadamente 277.620 km<sup>2</sup>, sendo que, de acordo com dados da Mineratins (2013), as atividades de mineração estão presentes em praticamente todos os municípios do estado, seja pela presença de minérios ou pela sua extração. Acrescente-se que no estado as atividades de mineração voltam-se, basicamente, para extração de minérios para uso imediato na construção civil, água mineral e calcária para fabricação de cimento e corretivos de solo.

Além disso, nos últimos anos, as pesquisas minerais desenvolvidas revelaram a ocorrência de minérios como de ouro, fosfato, minérios de ferro, níquel e cobre, rochas ornamentais (ainda não avaliadas ou em fase de análise pelo DNPM), além de grandes reservas de calcários, sendo que em 2009 o Tocantins ficou na 7ª posição entre os maiores produtores nacionais de calcário agrícola (MINERATINS, 2013).

Diante deste cenário, é crescente o interesse de grandes empresas de mineração pelo estado, já sendo possível a verificação de instalação de empresas de grande porte nacional em diferentes municípios, tais como o grupo Votorantin (em Xambioá), MbAC (em Arraias) e a Rio Novo Mineração (em Almas). Entretanto, empresas tradicionais do estado também puderam crescer e adquirir destaque no cenário nacional, como é o caso do grupo J. Demito com a empresa CALTINS (Bandeirantes do Tocantins).

Este grupo está no estado do Tocantins desde o final da década de 90 e hoje já possui um total de 3 empresas, no ramo da mineração, já estabelecidas em termos de produção (CALTINS, em Bandeirantes do Tocantins, NATICAL, em Natividade, e a MINERAX, em Xambioá) e 1 empresa em fase de implementação dos processos de produção (SUPERCAL, em Bandeirantes do Tocantins). Tendo como minério o calcário, tanto o calcítico quanto o dolomítico, o grupo representa uma grande porcentagem da produção estadual deste minério,

já atendendo, inclusive, a outros estados da região, como o sul do Maranhão e do Piauí, parte do Mato Grosso e o Pará.

Percebe-se, portanto, que o estado do Tocantins tem evidenciado um grande crescimento e potencial de produção de minérios. Com isso, estudos na área vem a somar no sentido de permitir o alcance de melhorias nos processos de lavra e de produção de minérios, gerando crescimento não só para as empresas envolvidas, para crescimento econômico para o Estado de um modo geral.

### **3.1 Empresa Minerax**

A empresa Minerax pertence ao Grupo J. Demito, tendo sido implantada na cidade de Xambioá, extremo norte do estado, em junho de 2012, estrategicamente localizada para atender os mercados siderúrgicos de Marabá (PA) e Açailândia (MA), sendo esse seu maior objetivo.

Gerando cerca de 200 empregos diretos e indiretos, a empresa afirma que a jazida, ainda em exploração, já contempla uma reserva de 18 milhões de toneladas, podendo atingir até 40 milhões de toneladas nos próximos anos (MINERAX, 2013). Ainda de acordo com dados do grupo, a mineradora possui capacidade para produção aproximada de 500 mil toneladas ao ano, com grande potencial para o calcário corretivo dolomítico e calcítico, brita siderúrgica e brita para construção civil.

Quanto a isso, destaca-se que o calcário, enquanto recurso mineral, tem seu uso para a fabricação de cimento, brita siderúrgica e corretivos de solo, sendo sua utilização determinada pelo teor de cálcio e magnésio presente na jazida. Pode-se afirmar que o que determina seu uso é a composição química: quando predomina o teor de cálcio, seu uso normalmente é voltado para produção de brita siderúrgica e cimento; entretanto, quando este teor de cálcio diminui, normalmente seu uso volta-se para a correção de solo. Visualmente o calcário calcítico diferencia-se do calcário dolomítico pela cristalização bem mais nítida no primeiro. É corriqueiro, no entanto, o erro de se tentar diferenciá-los pela cor, visto que a maioria dos calcários calcíticos são mais acinzentados e os dolomíticos mais claros. Entretanto, o oposto também é facilmente verificado, não devendo se deixar influencia por este aspecto quando da análise visual.

Quanto às diferenças químicas, observa-se que especificamente o cálcio e o magnésio, no calcário calcítico, apresentam os seguintes percentuais: a) Mg: 4%; b) CaO: 44%. Já no



calcário dolomítico, os percentuais são os seguintes: a) Mg: 16%; b) CaO: 32%. Deve-se lembrar que existem outras substâncias em uma amostra de calcário, apesar de serem estas as que mais diferenciam um calcário do outro neste de processo produtivo.

Na empresa Minerax, existem duas lavras de calcário em pleno funcionamento, de dimensões similares e com desenvolvimento para o Norte, mas com usos distintos: a) **Cava 1**, com predominância de calcário dolomítico e conseqüente uso para corretivos de solo; b) Cava 2, com predominância de calcário calcítico, para uso na produção de brita siderúrgica.

**Figura 12:** Cava 1



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

**Figura 13:** Cava 2



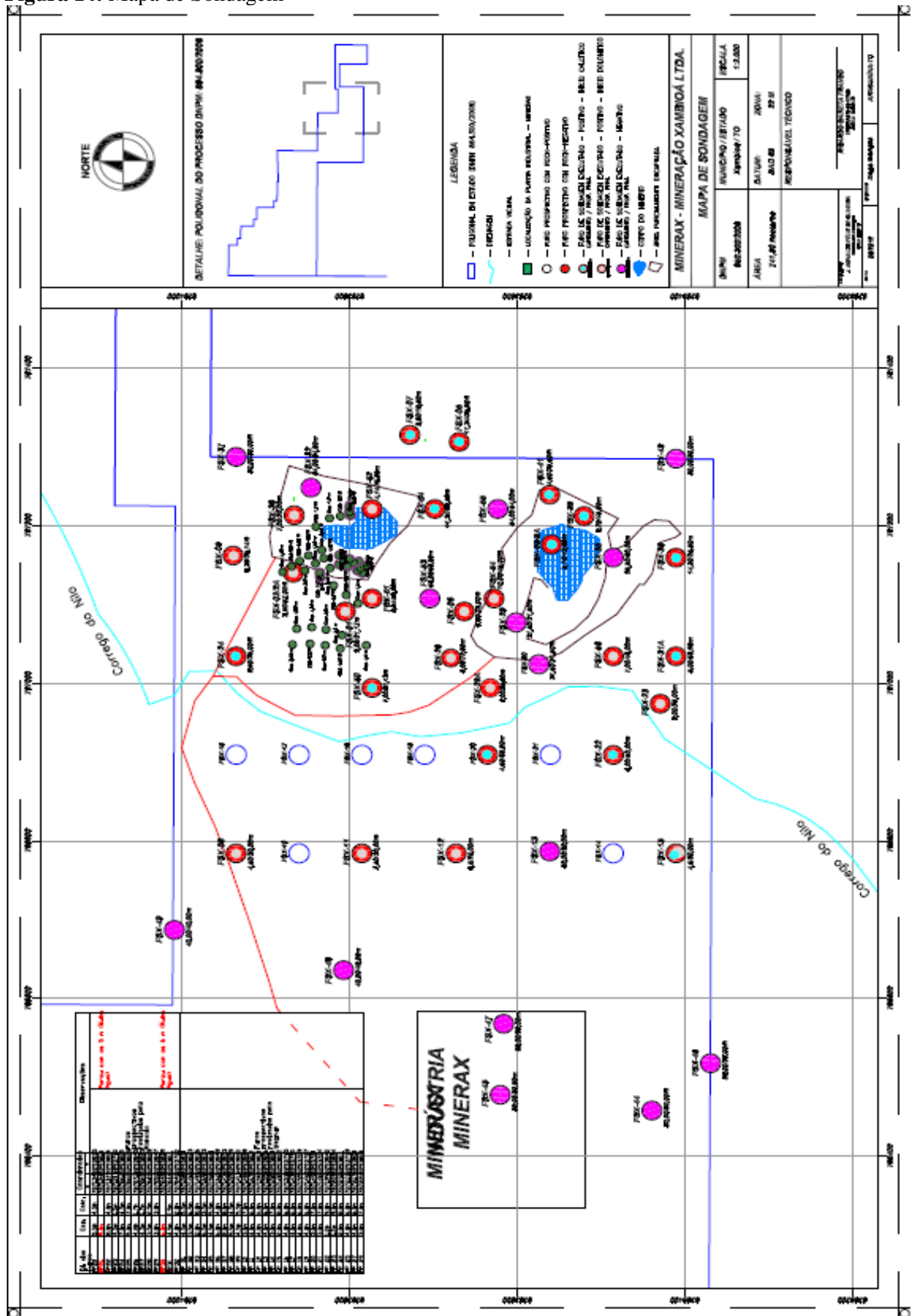
**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

Ressalta-se que o carregamento, na empresa Minerax, é realizado através de retroescavadeiras de 6 toneladas, levando cerca de 4 minutos o ciclo de carregamento completo em caminhões basculantes de 30 toneladas. Estes procederão o transporte do minério da cava até o alimentador do britador primário (mandíbula), sendo que da Cava 1 até o alimentador evidencia-se um percurso de 1,2 km, durando aproximadamente 12 minutos o ciclo completo, e da Cava 2 até o alimentador o trajeto é de 1 km, com duração aproximada de 10 minutos o ciclo completo. Deve-se lembrar que é política da empresa a adoção de uma velocidade máxima de tráfego dos caminhões de 40 km/h, sendo a velocidade média dos caminhões em operação de 12 km/h.

No período de 06 de junho de 2012 a 31 de dezembro de 2012, a Cava 1 produziu 90.357,95 toneladas de calcário dolomítico, com expectativa de produção em 2013 de alcançar 350.000,00 toneladas. Já a Cava 2, no mesmo período de 2012, produziu 2.604,68 toneladas de calcário calcítico, com expectativa de produzir 120.000,00 toneladas em 2013. Estes dados, por si só, apresentam uma realidade diferente da esperada: tendo com foco principal a extração de calcário calcítico para produção de brita siderúrgica, a empresa tem encontrado dificuldades na extração desse minério por motivos de falha na etapa da Pesquisa Mineral, podendo ser realizados estudos futuros que auxiliem a empresa nesta questão, visto que este não é o foco do presente trabalho.

Na figura a seguir se evidencia o Mapa de Sondagem da mina da empresa, considerando-se que os pontos de coloração rosada referem-se ao estéril, sendo todo o restante, minério.

**Figura 14:** Mapa de Sondagem



**Fonte:** Empresa Minerax (autorizada a divulgação pela empresa)



### 3.1.1 Beneficiamento na empresa Minerax

O processo de beneficiamento, apesar de ser realizado em uma planta pequena, evidencia grande organização, a qual ocorre com os seguintes equipamentos:

**Tabela 2:** Equipamentos para beneficiamento na empresa Minerax

| <b>Equipamento</b>               | <b>Quantidade</b> | <b>Potência</b> | <b>Fabricante</b> |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Alimentador Vibratório           | 1                 | 12,5 cv         | Piacentine        |
| Britador Primário (mandíbula)    | 1                 | 150 cv          | Piacentine        |
| Correia Transportadora           | 17                | -               | Piacentine        |
| Peneira Vibratória (1ª britagem) | 1                 | 12,5 cv         | Piacentine        |
| Calha Vibratória                 | 4                 | 2 cv            | Piacentine        |
| Britador Cone (2ª britagem)      | 1                 | 150 cv          | Piacentine        |
| Transporte helicoidal            | 2                 | 2 cv            | WEG               |
| Moinho                           | 4                 | 150 cv          | Imetec            |
| Filtro de Mangas                 | 1                 | 2 cv            | WEG               |
| Umidificador homogeneizador      | 1                 | 10 cv           | WEG               |
| Exaustor                         | 1                 | 50 cv           | WEG               |

**Fonte:** Elaboração própria

As figuras abaixo referem-se ao primeiro e segundo estágio de beneficiamento na empresa:

**Figura 15:** Primeiro estágio de beneficiamento



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

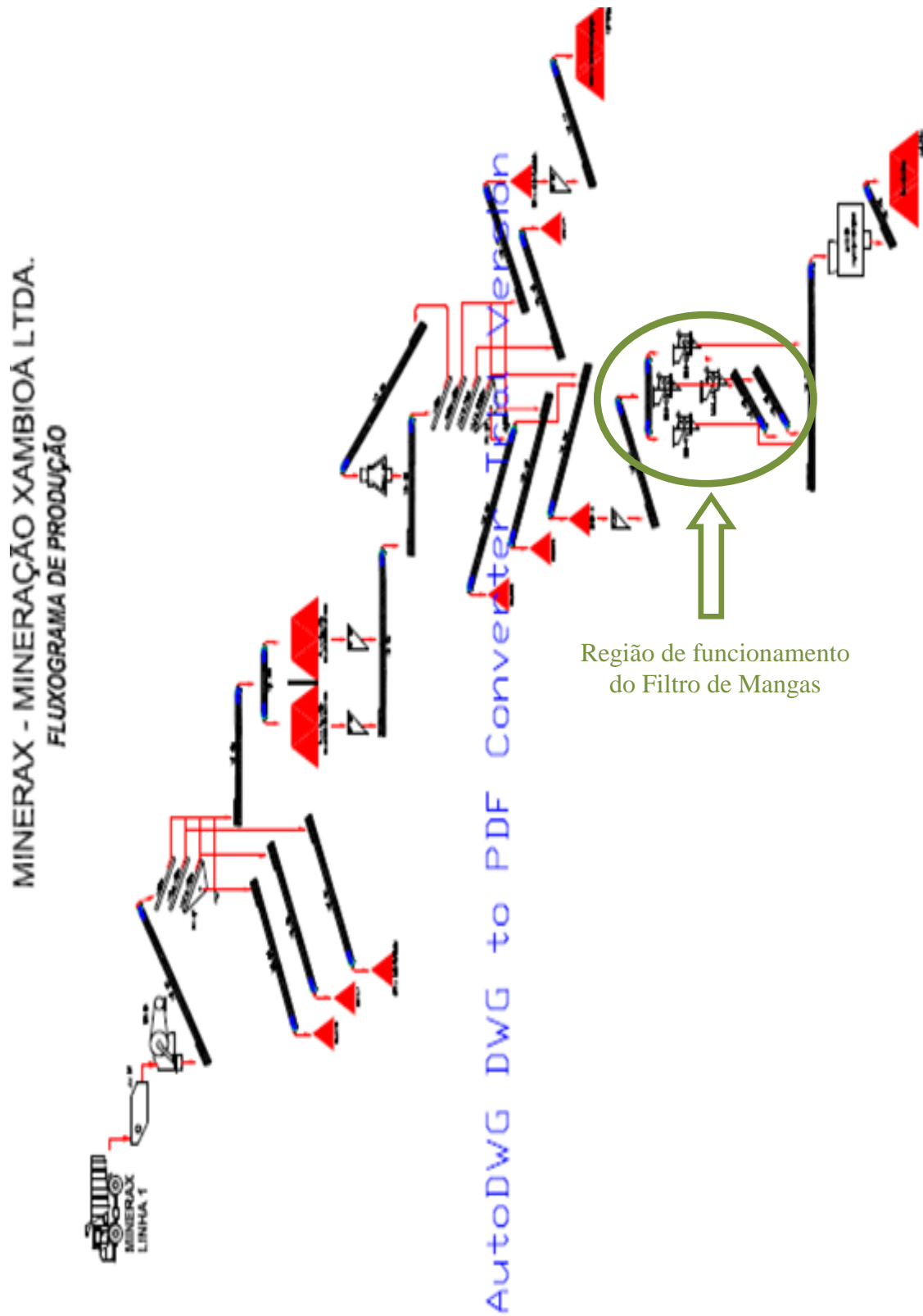
**Figura 16:** Segundo estágio de beneficiamento



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

Abaixo segue o Fluxograma do processo de beneficiamento da empresa:

**Figura 17:** Fluxograma do processo de beneficiamento na empresa Minerax



**Fonte:** Empresa Minerax (autorizada a divulgação pela empresa)

Um fator fundamental no processo de produção de diferentes minérios, ao qual várias empresas devem atentar-se, refere-se ao procedimento de *blend*, que se caracteriza pela mistura de diferentes tipos de minerais com a finalidade de equilibrar ou alcançar os teores de substâncias desejados. No caso da empresa Minerax, este processo é praticado na mistura do calcário dolomítico e do calcário calcítico em uma proporção de 2:1 (2 dolomítico; 1 calcítico).

Para esta empresa, a garantia junto ao Ministério de Agricultura, no que se refere ao corretivo de solo agrícola, é de 50% na soma dos NOX de óxido de magnésio (MgO) e óxido de cálcio (CaO), devendo obedecer as proporções de 11,5% de MgO e 38,5% de CaO. De acordo com a pesquisa mineral realizada anteriormente à implantação da mina, isto seria facilmente executável. No entanto, a empresa não tem conseguido alcançar esta garantia devido ao reduzido quantitativo de calcário calcítico que tem sido extraído e, consequentemente, dificultando a realização do *blend*. Quanto a isso, a empresa tem evidenciado o interesse de alterar a garantia junto ao Ministério de Agricultura para 16% de MgO e 32% de CaO, alcançando um NOX de 48%, o qual já se refere ao NOX de calcário dolomítico puro.

Dessa forma, não seria mais necessária a realização do *blend* e, consequentemente, toda a produção de calcário calcítico seria direcionada à produção de brita siderúrgica, principal foco produtivo da empresa, e toda a produção de calcário dolomítico seria direcionada à produção de corretivo de solo agrícola. Ressalta-se, portanto, a importância de desenvolvimento de uma pesquisa mineral.

Vale ressaltar que o beneficiamento realizado nesta empresa volta-se para a produção de brita siderúrgica e corretivo de solo, obedecendo-se as seguintes escalas intervalares:

**Tabela 3:** Intervalos granulométricos

| Intervalos de granulometria              | Produto (p)                                       |
|--|---|
| $p \leq 4,7 \text{ mm}$                  | Corretivo Agrícola                                |
| $4,7 \text{ mm} < p \leq 9,5 \text{ mm}$ | Brita 1 (para uso no Blend)                       |
| $9,5 \text{ mm} < p \leq 13 \text{ mm}$  | Agregado graúdo (não comercializado pela empresa) |
| $13 \text{ mm} < p \leq 40 \text{ mm}$   | Brita Siderúrgica (brita 2)                       |

**Fonte:** Elaboração própria

Considerando-se o foco da empresa exposto acima, em 2012 ela apresentou uma produção que gerou um balanço de massa exposto na tabela a seguir, ressaltando-se que, para fins de cálculo, inexistia o estoque de 2011 já que a produção teve início em 06 de junho de 2012, conforme segue:

**Tabela 4:** Balanço de Massa referente ao período de 06.06.2012 a 31.12.2012

| <b>Balanço de Massa</b>                            |  |                          |                              |
|--|--|--------------------------|------------------------------|
| <b>Quantidade de material colocado no britador</b> | <b>Quantidade de material que sai da indústria</b> |                          | <b>Quantidade de Rejeito</b> |
|  | <b>Corretivo</b>                                   | <b>Brita Siderúrgica</b> |                              |
| 117.321,02 ton.                                    | 90.357,95 ton.                                     | 2.604,68 ton.            | 17.598,15 ton.               |

**Fonte:** Elaboração própria (dados fornecidos pela empresa)

Já para o ano de 2013, as metas de produção são as seguintes:

**Tabela 5:** Metas de produção para o ano de 2013

| <b>Mês</b> | <b>Metas de Produção</b> |                          |
|------------|--------------------------|--------------------------|
|            | <b>Corretivo de Solo</b> | <b>Brita Siderúrgica</b> |
| Janeiro    | 8.000 ton                | 10.000 ton               |
| Fevereiro  | 8.000 ton                | 10.000 ton               |
| Março      | 8.000 ton                | 10.000 ton               |
| Abril      | 8.000 ton                | 10.000 ton               |
| Mai        | 41.000 ton               | 10.000 ton               |
| Junho      | 41.000 ton               | 10.000 ton               |
| Julho      | 58.000 ton               | 10.000 ton               |
| Agosto     | 58.000 ton               | 10.000 ton               |
| Setembro   | 58.000 ton               | 10.000 ton               |
| Outubro    | 25.000 ton               | 10.000 ton               |
| Novembro   | 20.000 ton               | 10.000 ton               |
| Dezembro   | 17.000 ton               | 10.000 ton               |
| Meta Anual | 350.000 ton              | 120.000 ton              |

**Fonte:** Elaboração própria (dados fornecidos pela empresa)

Observa-se que, por tratar-se de uma mina a céu aberto, as variações meteorológicas interferirão diretamente sobre a produção de corretivo de solo, onde as épocas chuvosas diminuem consideravelmente a produção diária. Assim, as metas de produção acompanham este raciocínio, prevendo-se menor produção para os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro, meses chuvosos no estado do Tocantins. Já no caso da produção de brita siderúrgica isso não se verifica pelo fato de a granulometria deste produto final ser bastante superior ao do corretivo de solo – onde o produto final apresenta-se na forma de material moído.

Assim, nota-se que apesar de ser uma planta de beneficiamento recente, apresenta um dimensionamento de equipamentos e materiais condizente com o que se propõe, com potencial para alcançar suas metas e objetivos.



## 4 METODOLOGIA

*“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas”*  
(Claude Lévi-Strauss)

No campo das ciências a investigação de determinado fenômeno deve ser pautada por normas, por um conjunto de procedimentos técnicos que permitam ao investigador atingir e construir conhecimentos. Para Gil (1999), os pensadores do passado acreditavam na possibilidade de utilização de um “método universal” aplicável aos diferentes ramos do conhecimento. Atualmente, entretanto, verifica-se uma diversidade de métodos e metodologias de pesquisa, as quais são determinadas pelo tipo de objeto a ser investigado e pelas proposições a serem descobertas.

O tema abordado foi estudado mediante um tipo estudo denominado por Tripp (2005) Investigação-Ação, no qual um determinado processo é aprimorado na prática através de sua investigação detalhada, obedecendo ao ciclo planejamento-implementação-descrição-avaliação. Este tipo de estudo permite que se busquem melhorias de sua prática ao mesmo tempo em que se conhece mais sobre o tema objeto de estudo, tanto de sua prática quanto de sua própria investigação. Como método de investigação dos temas abordados neste estudo, a pesquisa bibliográfica foi amplamente utilizada, tendo como base a consulta a livros, periódicos, estudos e teorias já elaboradas e disponíveis para consulta.

Para a coleta de dados previa-se a utilização da seguinte metodologia: em 1 metro linear da Correia Transportadora (TC) que alimenta o moinho (Material A), se coleta todo o material existente e tarando-se sua massa. Em seguida, realiza-se o mesmo procedimento na Correia Transportadora (TC) de material já moído (Material B), o qual já está sendo encaminhado para comercialização. De posse destas duas massas, subtrai-se o Material B do Material A, o que fornecerá o valor numérico de perda do processo produtivo da empresa:

|  |
|--|
| $\text{Material A} - \text{Material B} = \text{Perda de produção}$ |
|--|

Deve-se considerar, ainda, que a unidade de medida de produção da mina é em tonelada por hora (t/h) e que a velocidade da correia transportadora é medida em metros por hora (m/h); logo, o cálculo utilizado para a obtenção desta unidade evidencia-se pela regra de análise dimensional: Kg/m X m/h, logo, a unidade de produção da mina fica sendo kg/h:

$$\frac{kg}{m} \times \frac{m}{h} = \frac{kg}{h}$$

Paralelamente a este procedimento, para complementação da coleta de dados e informações tem-se a observação das atividades desenvolvidas na empresa, registro das diferentes situações por meio de fotografias, diário de campo e entrevistas informais com os trabalhadores, apresentando-se como um conjunto sistemático de registro de dados capazes de fornecer um panorama geral da empresa objeto deste estudo e seus processos de mineração.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

*“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”*  
(George Bernard Shaw)

Ao se propor este projeto, acreditava-se na possibilidade de desenvolvimento de um estudo tendo como ponto de partida a utilização de dados proveniente da coleta de amostras seriadas, conforme exposto no item 5 deste trabalho – Metodologia. Para que isso fosse possível, seria necessário a pausa tanto da correia transportadora que alimenta o moinho quanto da correia transportadora que carrega o material já processado pelo moinho e filtrado pelo Filtro de Mangas, a cada 5 minutos em um período de 150 minutos (2h5min).

No entanto, como o período chuvoso se prolongou no estado do Tocantins no ano de 2013 e, conseqüentemente, diminuiu o período de produção máxima da empresa, em setembro de 2013 (mês de desenvolvimento da ação), a empresa encontrava-se em um momento de pico produtivo, exigindo-se ao máximo de todas as etapas do processo visando aumento de produtividade e diminuição das perdas já evidenciadas. Cabe lembrar, conforme exposto na Tabela 5 – Metas de produção para o ano de 2013, constante no item 4.1 (Empresa Minerax) deste trabalho, que os meses de julho a setembro correspondem, por si só, à programação da empresa de arrocho nas metas, buscando alcançar 58.000 toneladas de Corretivo de Solo em cada mês.

Com isso, não havia possibilidades de pausas das correias transportadoras para desenvolvimento desta proposta, cabendo ao pesquisador encontrar alternativas para continuidade deste projeto. Desta forma, considerando tratar-se de um trabalho acadêmico, com prazos rígidos para entrega do mesmo, não seria possível o adiamento de desenvolvimento deste estudo, ou seja, não seria possível a atuação do pesquisador junto à empresa em outro mês, quando houvesse a possibilidade de pausas nas correias transportadoras e, conseqüentemente, na produção.

Diante do exposto, apesar de se entender que esta seria uma ação que possivelmente traria informações concretas e precisas quanto às perdas no processo produtivo, inclusive permitindo maior embasamento científico para elaboração de propostas de

otimização/melhorias, neste trabalho utilizou-se apenas as informações sistematicamente registradas, decorrentes do processo de observação das práticas e de entrevistas informais realizadas com os trabalhadores da empresa, o que certamente é de grande valia na elaboração das proposições de otimização/melhorias. O registro fotográfico também se apresentou como um importante instrumento nesse processo.

Assim, de um modo geral as informações coletadas demonstram que é grande o volume de poeira/material particulado no ambiente que circunda toda a planta de beneficiamento, tornando o local mais insalubre do que o normal, gerando altos índices de perda de material que poderia retornar ao sistema caso a captação fosse mais eficiente. As imagens a seguir exemplificam o exposto acima:

**Figura 18:** Evidencia a quantidade de material particulado solto no ambiente de trabalho (região abaixo do Filtro de Mangas)



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

É importante lembrar que, apesar dos trabalhadores da empresa utilizarem Equipamento de Proteção Individual (EPI) modernos e adequados, conforme preconizado pela legislação vigente, as máscaras não são suficientes para controle de toda a poeira, acabando por expor os trabalhadores a estes materiais. As figuras e tabela a seguir demonstram essa situação, atentando-se para o fato de que o pó do calcário é bastante claro, podendo dar a impressão de que ela não está suja. No entanto, a diferença entre os pesos da máscara

demonstra que o acúmulo de material e consequente exposição do trabalhador são reais, lembrando que quanto mais próximo da área de moagem, maior a exposição deste ao material particulado e maior o acúmulo na máscara:

**Figura 19:** Comparativo 1, entre uma Máscara antes e após o uso por um trabalhador (período de 8 horas)



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

Na primeira imagem a Máscara de Proteção Individual do Trabalhador 1 foi pesada no início do turno do mesmo, antes que iniciasse suas atividades, pesando 3,182 gramas. Na

imagem seguinte a máscara ao final do turno do trabalhador, ou seja, após 8 horas de trabalho, quando passa a pesar 4,547 gramas, evidenciando um acúmulo de 1,365 gramas.

**Figura 20:** Comparativo 2, entre uma Máscara antes e após o uso por um trabalhador (período de 8 horas)



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

Acima a Máscara de Proteção Individual do Trabalhador 2 foi pesada no início do turno do mesmo, antes que iniciasse suas atividades, pesando 3,159 gramas e na imagem



seguinte, a máscara ao final do turno do trabalhador quando passa a pesar 3,434 gramas, com um acúmulo de 0,275 gramas.

**Figura 21:** Comparativo 3, entre uma Máscara antes e após o uso por um trabalhador (período de 8 horas)



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

Já a Máscara de Proteção Individual do Trabalhador 3, também pesada no início do turno, pesava 3,032 gramas e na imagem seguinte, a máscara ao final do turno do trabalhador quando passa a pesar 3,408 gramas, com um acúmulo de 0,376 gramas.

A tabela seguinte demonstra os dados decorrentes das amostras coletadas antes e após o uso das máscaras pelos trabalhadores, lembrando que não foi calculada a média de acúmulo devido as variações decorrentes da localização dos trabalhadores em suas funções e localidades de trabalho:

**Tabela 6:** Amostras de Máscaras de Proteção Individual dos trabalhadores antes e após o uso normal durante 1 turno de trabalho (8 horas)

| Trabalhador | Massa da Máscara (em gramas) |            | Acúmulo de material (em gramas) |
|-------------|------------------------------|------------|---------------------------------|
|             | Antes do Uso                 | Após o Uso |                                 |
| <b>1</b>    | 3,182                        | 4,547      | 1,365                           |
| <b>2</b>    | 3,159                        | 3,434      | 0,275                           |
| <b>3</b>    | 3,032                        | 3,408      | 0,376                           |
| <b>4</b>    | 2,931                        | 3,132      | 0,201                           |
| <b>5</b>    | 3,071                        | 3,402      | 0,331                           |
| <b>6</b>    | 3,106                        | 4,047      | 0,941                           |
| <b>7</b>    | 2,950                        | 3,280      | 0,330                           |
| <b>8</b>    | 2,811                        | 2,823      | 0,012                           |
| <b>9</b>    | 2,840                        | 2,975      | 0,135                           |
| <b>10</b>   | 2,897                        | 3,079      | 0,182                           |
| <b>11</b>   | 2,904                        | 3,097      | 0,193                           |
| <b>12</b>   | 2,987                        | 3,301      | 0,314                           |

**Fonte:** Elaboração própria

Vale lembrar que os trabalhadores foram orientados a manter sua rotina de uso das máscaras, ou seja, sem que alterasse seus costumes de uso. Com isso, muitos trabalhadores não trocam este tipo de máscara ao longo do dia, apenas retirando os excessos de particulado como forma de limpeza das mesmas. Os dados acima, portanto, refletem o acúmulo de particulado em um dia normal de trabalho destes funcionários, podendo as máscaras ter sido ou não sacudidas (como costumam fazer para limpá-las)<sup>7</sup>.

Outro fator fundamental a ser considerado refere-se aos efeitos decorrentes da ação do vento no local, que sopra normalmente no sentido Norte-Sul, evidenciando uma predominância de material particulado na ala Sul do Filtro de Mangas, acumulando-se uma quantidade maior de material nesta região. As figuras a seguir demonstram essa realidade:

<sup>7</sup> Esta metodologia foi adotada para não interferir na rotina de trabalho e de produção da empresa.



**Figura 22:** Evidencia o sentido do vento na planta de beneficiamento



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

**Figura 23:** Evidencia o acúmulo de material particulado na região Sul do Filtro de Mangas em decorrência do sentido do vento



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

Como a densidade do material particulado é muito baixa e facilmente deslocada pelo vento, o funcionamento do Filtro de Mangas é prejudicado, ocasionando perdas visíveis, além do, já citado, fator extremamente prejudicial à saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos diretamente neste local.

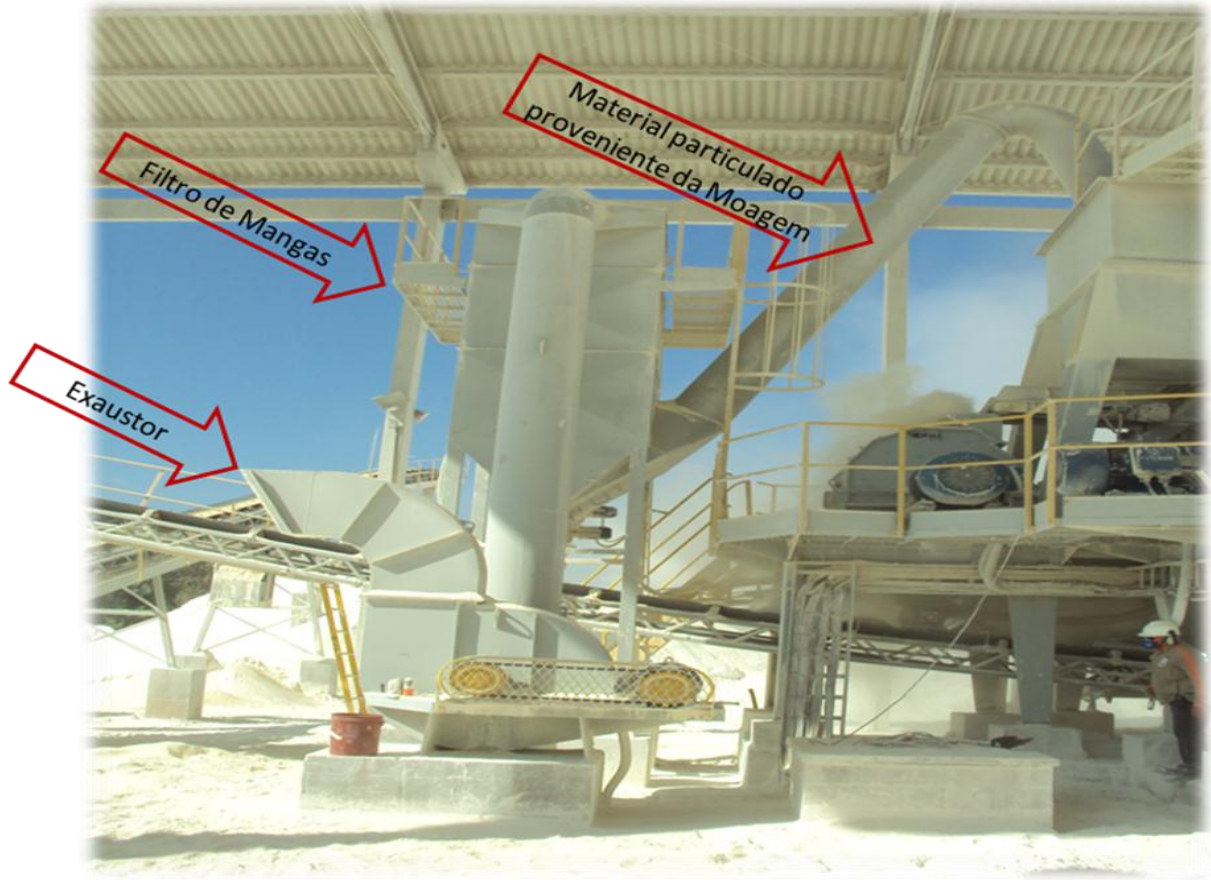
Deve-se lembrar que apesar de existir um exaustor bem dimensionado junto ao Filtro de Mangas, conforme verificado nas Figura 24, ele não tem sido capaz de sugar todo o material particulado excedente e despercebido pelo Filtro de Mangas proveniente do processo de moagem, ficando visível a identificação deste gargalo para o processo. Lembra-se que mais uma vez a ação do vento tem interferido negativamente nesse processo, sendo fundamental a intervenção com medidas mitigatórias deste problema.

**Figura 24:** Evidencia a localização do Filtro de Mangas e do Exaustor na planta de beneficiamento



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

**Figura 25:** Evidencia a localização do Filtro de Mangas e do Exaustor na planta de beneficiamento



**Fonte:** Arquivo pessoal (autorizada a divulgação pela empresa)

É importante ressaltar que a elaboração de uma Planta de Beneficiamento deve considerar uma série de fatores que agirão sobre o sistema, tal como é o caso da ação do vento no sistema em questão, cabendo especial atenção no momento de implantação dos equipamentos. No entanto, já estando em funcionamento é possível a otimização e melhoria deste processo acrescentando-se pelo menos 1 outro exaustor no sentido oposto ao que agora existe, no local em que se evidencia maior acúmulo de material particulado neste momento.

Vale lembrar que, como as forças da natureza nem sempre são facilmente previsíveis, nem sempre essa ação prévia é possível, sendo necessário que, em determinadas situações, sejam adotadas medidas posteriores, quando já instalado todo o sistema.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”*  
(Marthin Luther King)

Considerando-se o exposto ao longo deste trabalho, percebe-se que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados, com exceção da identificação dos índices de perda de produtividade decorrentes da emissão de particulados no processo de moagem na empresa em questão, visto que não foi possível pausar o processo produtivo conforme exposto anteriormente. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de um estudo de caso mais detalhado, com mensuração das perdas (que apesar de visíveis não puderam ser mensuradas) de produção decorrentes da não possibilidade de reinserção no sistema do material particulado excedente perdido, e elaboração de medidas práticas de alteração dessa realidade e consequente otimização/melhorias do sistema.

No entanto, com base nos dados encontrados neste estudo, pode-se inferir que o acréscimo de pelo menos 1 exaustor na posição oposta ao que hoje existe, exatamente onde se verifica um maior acúmulo de particulados em decorrência da ação do vento, tal como apresentado no item anterior, já será de grande ajuda no processo de recuperação do material particulado que hoje é perdido, resultando, necessariamente em diminuição das perdas produtivas hoje verificadas, além da melhoria do ambiente ocupacional em que se encontram os trabalhadores.

Além disso, outro fator que poderia colaborar para otimização do sistema como um todo refere-se a um aumento na frequência da limpeza manual das mangas do Filtro de Mangas, considerando-se que é visível o excesso de material particulado decorrente do processo de moagem. Tal ação visa evitar uma sobrecarga do sistema, refletindo em uma diminuição de rendimento do Filtro de Mangas o que pode, inclusive, ocasionar um colapso em todo o sistema de filtragem conforme apresentado graficamente na Figura 8 - Esquema gráfico de representação da Pressão x Vazão, do item 3 deste trabalho (Filtragem de Particulados e Utilização de Filtro de Mangas).

Além disso, considerando-se as responsabilidades individuais dos trabalhadores, conforme previsto em legislação vigente, recomenda-se, como medida individual de cada trabalhador, que estes se atentem para a necessidade real de troca periódica durante o turno de trabalho das Máscaras de Proteção, visto que estas são fornecidas e recomendadas seu uso por parte área de Segurança no Trabalho da empresa, cabendo a cada um este cuidado.

Por fim, ressalta-se que o desenvolvimento de um estudo desta natureza reflete uma academia que cumpre com o seu verdadeiro papel educacional, representando um espaço que não é só de repasse de conhecimentos mas, principalmente, de produção destes. Aprendendo, o acadêmico se vê diante do desafio de criar propostas que, de fato, apresentem soluções e possibilidades de avanços tecnológicos e econômicos em diferentes instâncias; ao final, são múltiplos os ganhos: do acadêmico, que tem a oportunidade de se tornar um profissional bem qualificado; a academia, que lança esses profissionais no mercado; a empresa, com os benefícios advindos dos estudos desenvolvidos, e por fim; a cidade e o estado, que colherão os frutos do desenvolvimento sócio-econômico gerado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Francisco César Rodrigues de; SOUZA, Marcone Jamilson Freitas. Uma heurística para o planejamento operacional de lavra com alocação dinâmica de caminhões. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 1, mar. 2011. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672011000100009&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672011000100009&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 10 mar. 2013.

BATISTONI, Celésio. **Padronização e desenvolvimento de filtros de mangas**. Monografia (Curso de Tecnólogo em Manutenção Industrial). 2011. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/230>>. Acesso em agosto de 2013.

BEM, Susana Sanson de. **Instalações de britagem, condições de trabalho e de processo: uma abordagem de saúde e segurança**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). 2006. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BRASIL. **Norma Regulamentadora nº22**. Disciplina a Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Brasília-DF, 1978.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos Jurídicos. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Brasília-DF, 1981.

\_\_\_\_\_. **Instrução Normativa SSST/MTB nº01, de 11 de abril de 1994**. Estabelece o Regulamento Técnico sobre o uso de equipamentos para proteção respiratória. Brasília-DF, 1994.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília-DF, 1998.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos Jurídicos. **Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000**. Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília-DF, 2000.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos Jurídicos. **Lei complementar nº140, de 8 de dezembro de 2011.** Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília-DF, 2011.

CAMARGO, Osny Ferreira. **Estudo de desempenho de filtros para particulados e seleção de respiradores para uso em mineradoras.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). 2007. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-09012008-090840/pt-br.php>>. Acesso em outubro de 2013.

CHAVES, Arthur Pinto e *col.* **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios:** volume I. 3ª edição rev. e ampl. São Paulo: Signos Editora, 2007.

FURIERI, Bruno; CASTILHO, Lorena Beccalli de. **Elaboração de projetos de aperfeiçoamento do sistema de controle de material particulado em uma unidade industrial: processamento final de cimento Portland.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). 2009. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Disponível em: <<http://www.ct.ufes.br/dea/files/ELABORA%C3%87%C3%83O%20DE%20PROJETOS%20DE%20APERFEI%C3%87OAMENTO%20DO%20SISTEMA%20DE%20CONTROLE%20DE%20MATERIAL%20PARTICULADO%20EM%20UMA%20UNIDADE%20INDUSTRIAL%20%20PROCESSAMENTO%20FINAL%20DE%20CIMENTO%20PORTLAND.pdf>>. Acesso em julho de 2013.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** São Paulo: Atlas, 1999.

GRUPO J.DEMITTO. **Minerax, Brita e Calcário:** História. Tocantins, 2013. Disponível em: <http://www.jdemito.com.br/calcario/minerax-historia/>. Acesso em 09 de março de 2013.

GUIMARÃES, Nelson. **Equipamentos de construção e conservação.** Curitiba: Editora UFPR, 2001.

JUNIOR, Antéro Mafra; MADEIRA, Mário Sérgio. **A segurança do trabalho em minas de carvão agindo na prevenção de pneumoconiose** – região carbonífera de Santa Catarina. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). 2005. Universidade de Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma.

LORA, Electo Silva. **Controle da poluição do ar na indústria açucareira**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Sociedade dos técnicos açucareiros do Brasil–STAB, 2000. Disponível em: < <http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/files/STAB-1.pdf>>. Acesso em outubro de 2013.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. **Tratamento de Minérios**. 5ª edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MOREIRA, César Augusto; ILHA, Lenon Melo. Prospecção geofísica em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã (RS). **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 3, set. 2011. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672011000300008&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672011000300008&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 10 mar. 2013.

NUNES, Deivid Marques. **Construção de um sistema de filtração de gases para o estudo da formação e remoção de tortas de filtração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). 2011. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em <[http://www.bdtu.ufu.br/tde\\_arquivos/12/TDE-2012-05-28T142915Z-3029/Publico/d.pdf](http://www.bdtu.ufu.br/tde_arquivos/12/TDE-2012-05-28T142915Z-3029/Publico/d.pdf)>. Acesso em setembro e outubro de 2013.

PACHECO, Tito A. Controle Avançado de Filtro de Mangas. **Revista Meio Filtrante**. Março/Abril, 2007a. p. 32-40. Disponível em <[http://vortexindustrial.com.br/media/DIR\\_25601/28cb480aab4d3902ffff8171ffffd502.pdf](http://vortexindustrial.com.br/media/DIR_25601/28cb480aab4d3902ffff8171ffffd502.pdf)>. Acesso em setembro e outubro de 2013.

\_\_\_\_\_. **Implicação no projeto de filtros de mangas da vazão real de válvulas diafragmas**. Porto Alegre: Biblioteca Vortex Consultoria, 2007b. Disponível em: <[http://www.vortexindustrial.com.br/media/DIR\\_25601/28cb480aab4d3902ffff8174ffffd502.pdf](http://www.vortexindustrial.com.br/media/DIR_25601/28cb480aab4d3902ffff8174ffffd502.pdf)>. Acesso em setembro e outubro de 2013.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. São Paulo: Pini, 2007.

RODRIGUES, Gilson Lucio et al. Estudo comparativo entre as poeiras respiráveis de basalto e gnaiss na produção de brita nas regiões de Londrina e Curitiba, no estado do Paraná, e sua influência para os trabalhadores1. **Rev. Política Editorial**. V.5409, n.112, p. 37-47, 2005. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbso/v30n112/05.pdf>>. Acesso em outubro de 2013.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle de Poeira e outros particulados**. 4ª edição. São Paulo: LTr, 2010.



SANT'ANA, Sergio Ribeiro de *et al.* **Proteção respiratória:** a questão da importância legal e da segurança quanto aos riscos respiratórios à saúde dos trabalhadores de laboratórios científicos e tecnológicos. Niterói: LATEC/UFF, s/d. Disponível em: <[http://www.aedb.br/seget/artigos05/283\\_ARTIGO%20%20PROTECAO%20RESPIRATORIA%20EM%20LABORATORIOS.pdf](http://www.aedb.br/seget/artigos05/283_ARTIGO%20%20PROTECAO%20RESPIRATORIA%20EM%20LABORATORIOS.pdf)>. Acesso em outubro de 2013.

TOCANTINS. Mineratins. **Atividades Minerais no Estado do Tocantins.** Tocantins, 2013. Disponível em: <http://mineratins.to.gov.br/conteudo/atividades-minerais-no-estado-do-tocantins/276>. Acesso em 09 de março de 2013.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *IN: Educação e Pesquisa.* São Paulo, v.31, n.3, set/dez/ 2005, p.443-466. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v31n3/a09v31n3.pdf>> Acesso em abril de 2013.

VENTEC AMBIENTAL. **Manual Técnico de Instalação, Operação e Manutenção:** Filtro de Mangas. São Paulo: Ventec Ambiental Equipamentos e Instalação, 2008.