

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG
ENGENHARIA MECÂNICA
PAULO RENATO GONÇALVES JÚNIOR

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fonseca
N. Class. <i>M621.6</i>
Cutter <i>G.635a</i>
Ano/Ed.

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG
BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE UM SISTEMA CICLONICO MISTO E ESTUDO
OCUPACIONAL**

Varginha - MG
2010

PAULO RENATO GONÇALVES JÚNIOR

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE UM SISTEMA CICLONICO MISTO E ESTUDO
OCUPACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Fernando Coradi.


**Varginha - MG
2010**

PAULO RENATO GONÇALVES JÚNIOR


**ANÁLISE ENERGÉTICA DE UM SISTEMA CICLONICO MISTO E ESTUDO
OCUPACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela banca Examinadora composta pelos membros: Prof. Esp. Márcio de Santana, Prof. Ms. Alexandre Soriano e Prof. Esp. Fernando Coradi.


Aprovado em *25/11/2010*



Prof.^o Esp. Márcio de Santana



Prof.^o Ms. Alexandre Soriano



Prof.^o Esp. Fernando Coradi

OBS.:

Dedico este trabalho à minha esposa Danielle e aos meus filhos Eduardo e Pedro e à todos que de alguma maneira contribuíram para a realização do mesmo.

Agradeço aos profissionais envolvidos neste trabalho, a empresa que cedeu sua estrutura e aos meus colegas de graduação.

“A árvore que um sábio vê não é a mesma
árvore que um tolo vê.”
(William Blake)

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de um sistema de monitoramento do tipo ciclone misto (exaustão mais filtragem) em uma máquina de retífica em uma empresa fabricante de molas mecânicas. Realizou-se uma análise de seu consumo energético, logo após comparando-o à um sistema ciclônico à seco. Foi proposto um estudo ocupacional, já que não existem registros de estudos válidos na empresa analisada, e sugerido uma análise ambiental, pois não há registros da mesma. As normas de segurança e saúde ocupacional, assim como os requisitos ambientais vigentes e os limites de tolerância para emissão de poeira metálica também foram observados.

Palavras-chave: Exaustores ; Ciclônicos ; Consumo; Ocupacional.

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG

BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

ABSTRACT

This paper presents a study of a system for monitoring the cyclone mixed (more exhaust filtering) in a grinding machine in a factory of mechanical springs. We conducted an analysis of its energy consumption, after comparing it to a cyclonic system to dry. It was proposed an occupational study, since there are no records in the company of valid studies analyzed, and suggested an environmental analysis, because there is no record of it. The standards of occupational safety and health, as well as existing environmental requirements and tolerances for metal dust emissions were also observed.

Key-words: Exhaust; cyclones; Consumption; Occupational.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Princípio de funcionamento de um lavador de gases tipo pratos.....	17
Figura 02 - Exemplo de bioreator.....	17
Figura 03 - Alternativa de equipamentos para controle da poluição do ar.....	18
Figura 04 - Sistema Ciclônico Cilindrico-Troncônico.....	19
Figura 05 - Vista Superior do Sistema Ciclônico Cilindrico-Troncônico.....	20
Figura 06 - Sistema Ciclone com Topo Helicoidal.....	20
Figura 07 - Vista Superior do Sistema Ciclone com Topo Helicoidal.....	21
Figura 08 - Imagem em corte do sistema de exaustão Ciclônico Misto.....	22
Figura 09 - Imagem em corte do Sistema de exaustão Ciclônico Misto.....	22
Figura 10 - Componentes do Sistema de Exaustão Ciclônico Misto.....	24
Figura 11 – Rebolos de Desbaste.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais	11
DIN – Deutsches Institut für Normung	12
PVC – Policloreto de Vinila.....	16
C – Carbono.....	26
Si – Silício	26
Mn – Manganês	26
P – Fósforo	26
S – Enxofre	26
Cu – Cobre	26
Fe – Ferro	26
NR – Norma Regulamentadora	36
ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists	40
NIOSH – National Institute for Occupation Safety and Health	40
TLV – Threshold Limit Values	40

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
2 SISTEMAS DE EXAUSTÃO E O MATERIAL PARTICULADO.....	14
2.1 Modelos do Sistema de Exaustão.....	14
2.2 Modelos de Sistemas Ciclônicos Secos ou Coletores Centrifugos.....	19
2.3 Sistema de Exaustão Ciclônico Misto.....	21
2.3.1 Componentes do Sistema de Exaustão Ciclônico Misto	23
2.4 Conjunto Ventilador-Motor.....	25
2.5 Custos e Consumo.....	25
2.6. Composição do Material Particulado	26
2.6.1 Composição do Aço Carbono	26
2.6.2 Composição dos Rebolos de Desbaste.....	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Dados e Fórmulas para o Cálculo Energético do Sistema Exaustor.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 Eficiência energética do Sistema Ciclônico Misto.....	31
4.2 Registros Ocupacionais	34
CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS.....	38
ANEXO A - INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA AMOSTRAGEM OCUPACIONAL	39

SUMÁRIO

ANEXO B -	41
ANEXO C -	42

INTRODUÇÃO

As empresas traçam como principal objetivo o aumento da sua margem de lucro. No entanto, alguns fatores são limitantes para a expansão do mercado, o que torna necessário o cuidado com a diminuição dos gastos de processo e maximização da produtividade que, aliado a qualidade dos produtos, podem trazer grandes benefícios às empresas.

Para se obter um equilíbrio entre produção e lucratividade, deve-se primeiramente identificar pontos de desperdícios potenciais. O consumo energético não devidamente acompanhado pode representar um gasto financeiro desnecessário, podendo ser significativo nos custos da empresa. Os sistemas exaustores que utilizam motores elétricos necessitam de um monitoramento minucioso do seu consumo de energia.

Existem vários modelos de sistemas de exaustão. Estes modelos devem ser selecionados de acordo com a realidade da empresa em que serão instalados e isto depende de muitos fatores, tais como espaço físico, demanda de energia, custo de manutenção, custo de montagem, consumo, eficiência, tipo do agente poluidor, entre outros.

Além da preocupação com o consumo de energia, outra crescente no setor industrial são os cuidados ambientais e ocupacionais. Com o cumprimento das exigências legais constitucionais, percebeu-se ganhos financeiros significativos. Muitas empresas tendem a criar soluções simples, e de baixo custo, apenas para constarem como documentos legais em seus Programas de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA).

A retificação é o processo de retirada de material, ou seja, onde as extremidades da mola são desbastadas. No interior da retifica encontram-se dois rebolos de desbaste, que são os responsáveis diretos pela usinagem da mola. Com a remoção da matéria prima, gera-se uma poeira metálica, que juntamente com a poeira proveniente do desgaste dos rebolos, cria o agente poluidor, ou seja, um material particulado.

Ao final do processo de retífica, encontra-se um sistema exaustor que tem como função: a eliminação do material particulado de dentro da máquina retificadora; a eliminação do material particulado à atmosfera; o resfriamento do processo; e a garantia de um ambiente fabril salubre.

Outro momento crítico do processo, considerando emissão de material particulado, é a dressagem dos rebolos de desbaste. Durante a dressagem há uma grande emissão de material particulado. Neste momento não há desbaste das molas, entretanto a emissão de material particulado dos rebolos aumenta substancialmente.

A Mercomolas LTDA é uma empresa fabricante de molas mecânicas de precisão, situada na cidade de Lavras, Minas Gerais. Esta empresa possui dois processos macros, o de enrolamento automático e o de retificação. As molas de compressão geralmente obedecem a norma DIN (Deutsches Institut für Normung) 2095. A empresa utiliza-se do aço carbono segundo a norma DIN 17223 como matéria-prima. Ao final do processo de retificação esta matéria-prima produz uma poeira metálica, que juntamente com a poeira proveniente do desgaste dos rebolos, cria um agente poluidor, ou seja, um material particulado.

Todos os sistemas exaustores da empresa são do tipo ciclônico misto. Este sistema apresenta características dos sistemas ciclônicos secos e úmidos, onde temos a formação de um ciclone descendente seco, formado pelo ar e material particulado, e outro ciclone úmido, formado pela água mais o material particulado já decantado.

Ao final de cada exaustor encontra-se um reservatório de água. Esta água capta o material particulado e o mesmo decanta, criando uma mistura entre a água e o material particulado, esta mistura permanece em movimento helicoidal durante todo o processo de exaustão.

Ao realizar uma análise energética de um sistema de exaustão, podemos determinar soluções para que o consumo diminua, e com isso teremos uma redução dos gastos. Além disso, toda e qualquer empresa, deve ter o controle do seu ambiente de trabalho, pois como previsto na constituição nacional, as empresas devem manter seu ambiente salubre, caso isso não ocorra, as mesmas devem pagar um adicional por insalubridade. Portanto, realizar avaliações qualitativas e quantitativas, utilizando as ferramentas necessárias, é importante para verificar se os índices de emissão de poluentes encontram-se dentro das tolerâncias normativas.

Visto a importância do sistema de exaustão para a manutenção de um ambiente salubre e a necessidade de controle do consumo de energia para a obtenção de lucro, este trabalho tem como objetivo avaliar o sistema de exaustão utilizado, comparando-o com um

sistema de exaustão ciclônico a seco. Uma avaliação com relação às normas de segurança e meio ambiente também será proposta.

2 SISTEMAS DE EXAUSTÃO E O MATERIAL PARTICULADO

2.1 Modelos de sistemas de exaustão

Para controlar-se a emissão de poluentes à atmosfera devem ser utilizados equipamentos de controle de poluição de ar (Braga 2005). Segundo Macintyre (1990) a escolha do equipamento deve considerar: concentração e tamanhos das partículas; grau de purificação exigida; características do ar ou gás transportador do poluente; viscosidade; combustividade; agressividade química;

Os equipamentos de exaustão realizam a separação do poluente do gás que o transporta através de fenômenos físicos e/ou químicos. Considera-se, para a escolha do equipamento, alguns fatores importantes, entre eles a natureza do poluente, eficiência de controle desejada, custos e as condições locais. Para Macintyre (1990) os equipamentos de filtragem podem ser divididos em três grupos (macros):

- Filtros de ar: estes removem a poeira no grau de concentração em que a mesma possa encontrar-se no ar ambiente exterior ou interior e na recirculação de ar recinto. São geralmente empregados na tomada de ar exterior, nas instalações de ventilação e ar condicionado e também na retenção de poeiras produzidas em ambientes fechados. Algumas vezes é instalado próximo ao local de captura ou em locais onde o ar contendo poeiras é conduzido ao longo de dutos.
- Coletores de Poeira: aplicado onde a concentração de poeira é muito grande, podendo variar de 100 até 20.000 vezes o teor de concentração para o qual os filtros de ar são destinados. Capta a concentração diretamente onde ela é produzida.
- Lavadores de Gases, Torres de Absorção, Condensadores, Depuradores, Precipitadores Hidrodinâmicos, Incineradores: removem os gases e vapores antes mesmo da liberação dos

mesmos. Quando se trata da dissolução em água ou vapores de água, pode vir a ser necessário um tratamento químico complementar acompanhado de filtração, decantação ou destilação.

Uma importante consideração a ser feita sobre a eficiência dos coletores é que os mesmos jamais terão 100% de aproveitamento (alguns equipamentos podem alcançar até 99,9%). Entende-se como eficiência a capacidade do equipamento de coletar poluentes.

Na coleta de poluentes um, ou mais, dos seguintes mecanismos sempre estará presente: difusão e força elétrica, sedimentação gravitacional, força centrífuga, impactação inercial, interceptação.

Durante a coleta de material particulado (poluentes) há uma maior dificuldade em coletar partículas menores ($< 10 \mu\text{m}$), justamente as de maior penetração no sistema respiratório.

Os equipamentos podem ser classificados de duas maneiras, os coletores secos, e os coletores úmidos. Alguns exemplos de coletores secos são: coletores mecânicos gravitacionais e inerciais, coletores mecânicos centrífugos (ciclones) e precipitadores eletrostáticos secos. Os coletores úmidos são: lavadores de leito móvel, lavador com enchimento, precipitadores eletrostáticos úmidos, lavador ciclônico, lavador com pré-atomização, lavador venturi.

A câmara de sedimentação gravitacional utiliza a força gravitacional como seu principal mecanismo de coleta. Utilizado como pré-coletor, diminuindo a carga do coletor final, capta partículas maiores (>40 micrômetros). Não é indicado para coleta de partículas pequenas, em contrapartida sua principal vantagem é a baixa perda de carga.

Utilizando a força centrífuga como principal característica, os coletores centrífugos secos (ciclones) são muito utilizados na prática, principalmente como pré-coletores. Tem como vantagens o baixo custo, e baixa perda de carga. Em contrapartida são pouco eficientes na coleta de partículas pequenas.

Com muito maior versatilidade de captação de partículas sólidas (até menores de 1 micrômetro) os filtros-manga são utilizados como coletores finais. Por apresentarem uma alta eficiência de coleta (acima de 99%), é muito utilizado na prática. Suas limitações são quanto a altas temperaturas, e também em relação a umidade elevada, devido ao material das mangas.

Os precipitadores eletrostáticos, também conhecidos como filtros eletrostáticos, utilizam a força elétrica como mecanismo principal para coleta de partículas. Podem ser utilizados para a coleta final de todos os tamanhos de partículas, tanto sólidas como líquidas (nevoa). Apesar da alta eficiência, que pode chegar a 99,9%, sua instalação inicial tem um custo elevado, necessita de grande espaço para sua instalação, em geral é utilizada para fontes com grande geração de poluição.

Braga (2005) descreve que os condensadores são utilizados para remoção de vapores de altas concentrações e com pressão de vapor alta. A possibilidade da recuperação do produto é sua maior vantagem. Sua desvantagem está na baixa eficiência de coleta para concentrações típicas de fontes de poluição de ar.

Utilizado para remoção de uma grande variedade de vapores a baixa concentrações, a adsorção elimina muitos odores. O material adsorvente de uso geral é o carvão, mas a alumina ativada, as peneiras moleculares e a sílica gel também podem ser utilizadas em casos mais particulares.

Os absorvedores são equipamentos utilizados na absorção de gases. Transfere-se a massa (poluentes) da fase gasosa para a fase líquida (absorvente). Os mais utilizados são: torre de enchimento, torre de pratos (Figura 01), lavador venturi, lavador de spray.

A torre de pratos provoca a lavagem dos gases criando camadas de turbulência através de uma contracorrente que atravessa os pratos descendentemente, enquanto o gás está ascendentemente.

Sua fabricação pode ser feita em PVC, dotado de uma bomba para circulação do líquido lavador, que é pulverizado na câmara de névoa. Os gases a serem lavados são retidos em um compartimento onde ocorre a transferência física dos contaminantes existentes no gás para o líquido lavador, garantindo assim a purificação do ar antes do mesmo ser emitido novamente à atmosfera.

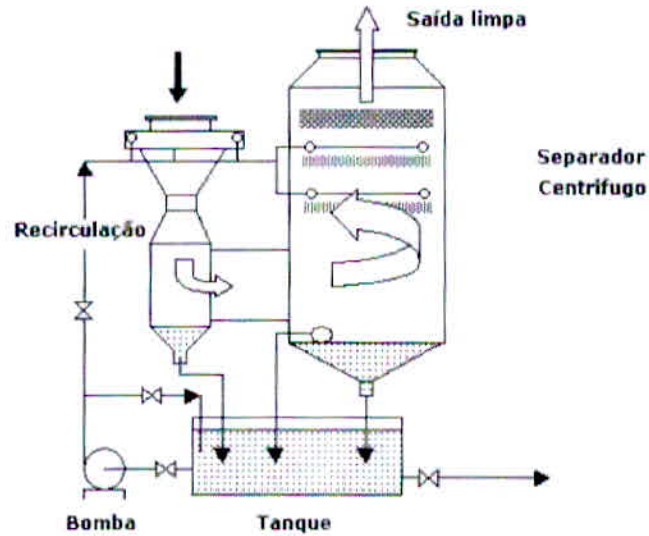


Figura 01. Princípio de funcionamento de um lavador de gases tipo pratos (Fonte: www.belfano.com.br).

Uma técnica recente e ainda em desenvolvimento são os bioreatores (Figura 02), aplicados para gases e vapores em geral em baixa concentração. Utilizam microorganismos para tratar os poluentes. Tem como vantagem ser um processo natural e de custo relativamente baixo. A principal desvantagem é a eficiência variável não tão alta para atender situações mais exigentes, bem como a ausência de parâmetros de projetos bem definidos.

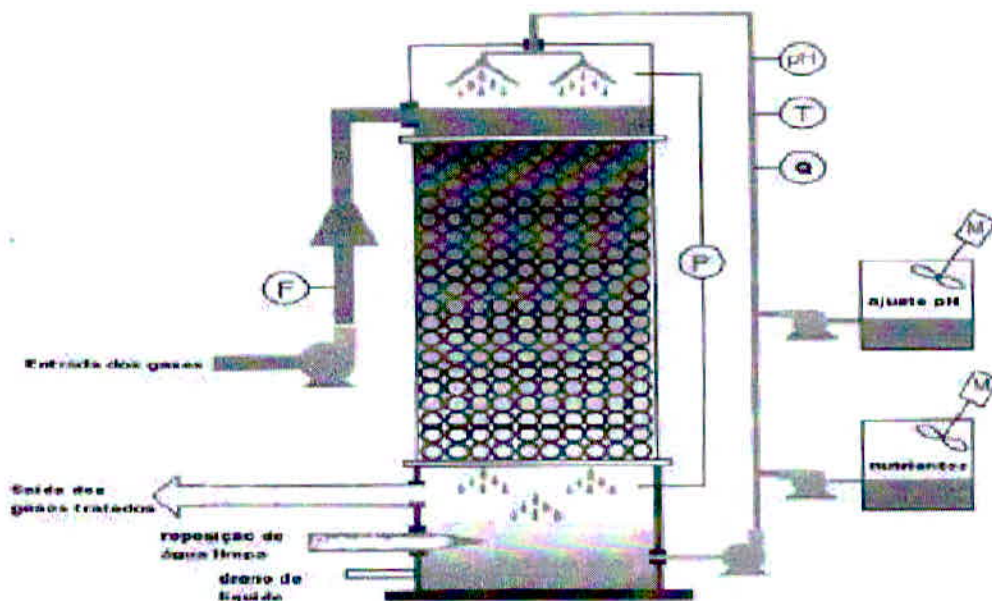


Figura 02. Exemplo de Bioreator (Fonte: Universidade de São Paulo, 2008)

Uma visão geral destes sistemas de controle de poluição é apresentada na figura 03.

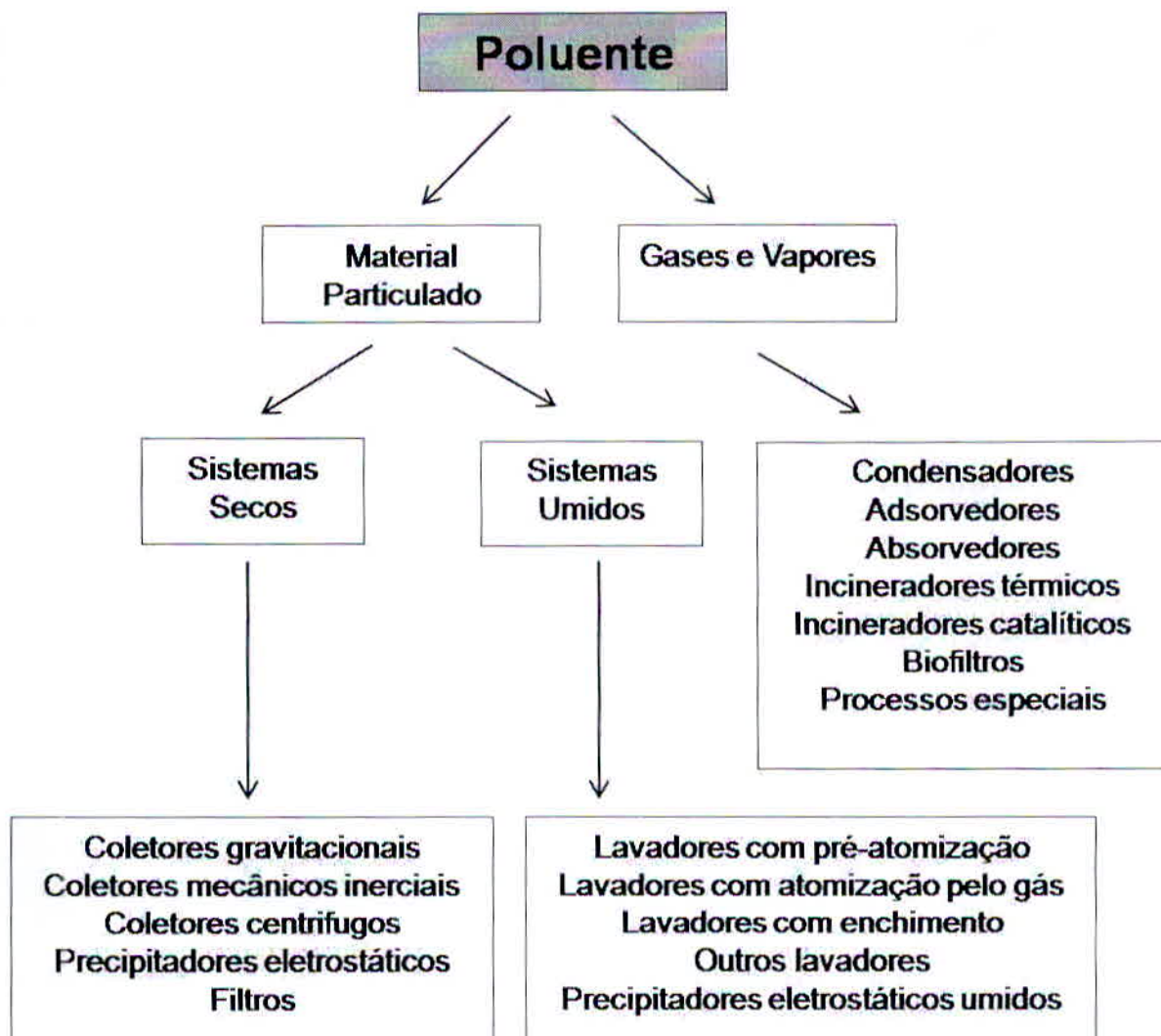


Figura 03. Alternativa de equipamentos para controle da poluição do ar (Fonte: Universidade de São Paulo, 2008).

O quadro acima exemplifica de maneira simplificada os tipos de sistemas de controle de poluição que podem ser adotados. Podemos observar que estes sistemas são diferenciados em duas finalidades, a captação de material particulado, e para este temos coletor secos e úmidos, e a captação de gases e vapores, onde temos os condensadores, adsorvedores, entre outros.

2.2 Modelos de sistemas ciclônicos secos ou coletores centrifugos

“Estabelecem um movimento rotatório para o gás, de modo que a força centrífuga aplicada às partículas sendo maior que as forças de coesão molecular e da gravidade, faz com que as mesmas sejam lançadas de encontro as paredes, retirando-as da massa gasosa em escoamento. Para que seja alcançados estes resultados, faz-se com que o ar penetre tangencialmente à periferia da parte superior de um cilindro ou cone, de modo a criar um fluxo helicoidal descendente que, ao atingir a parte inferior de um cone, retorne como um fluxo helicoidal ascendente central até a boca de saída na parte superior do cilindro. As forças centrífugas decorrentes deste movimento helicoidal projetam as partículas sólidas de encontro às paredes, de onde caem até o cone inferior que as coletas ou de onde são removidas”. (Mancityre, 1990, p. 306).

Alguns modelos ciclônicos a seco serão apresentados a seguir:

- Ciclone Cilindro-Trocônico:

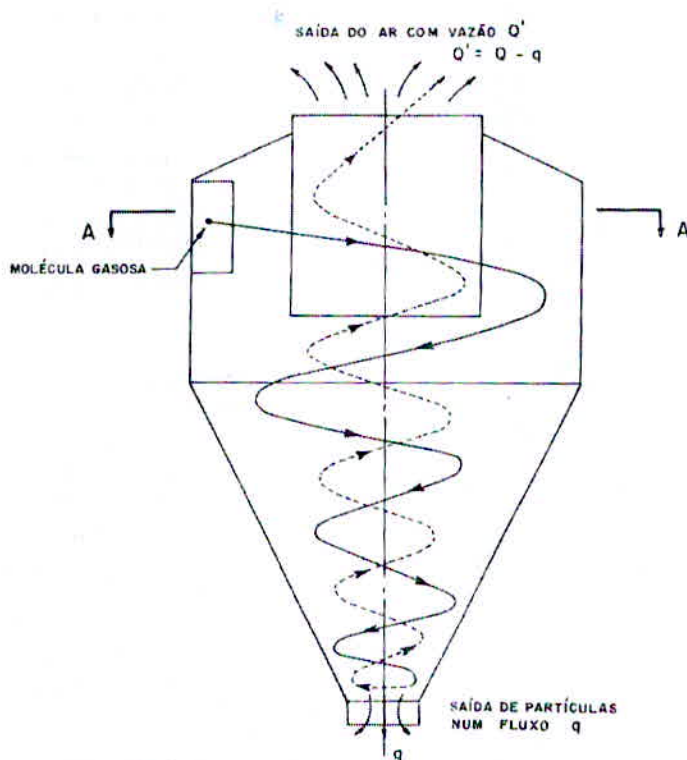


Figura 04. Sistema ciclônico cilindro-troncônico (Fonte: Mancityre, 1990).

Pode-se observar, na figura 04, a formação dos ciclones, um externo descendente e outro interno ascendente. Uma vista superior do sistema (Figura 05) ilustra de maneira mais clara a formação dos ciclones.

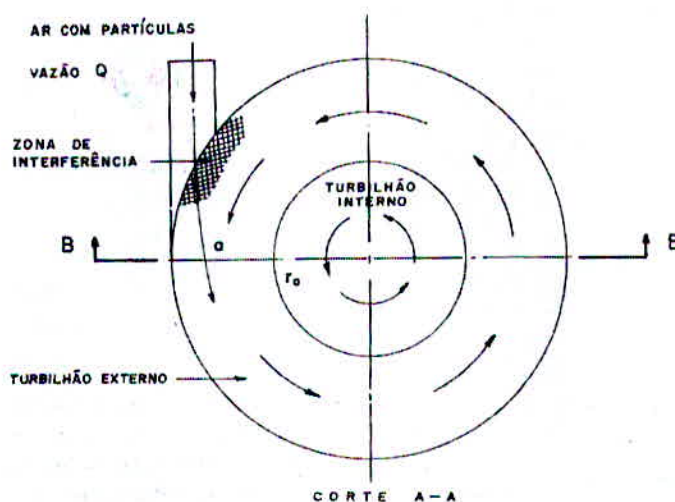


Figura 05. Vista superior do sistema Ciclônico Cilindro-Troncônico (Fonte: Mancityre, 1990)

- Sistema com topo helicoidal:

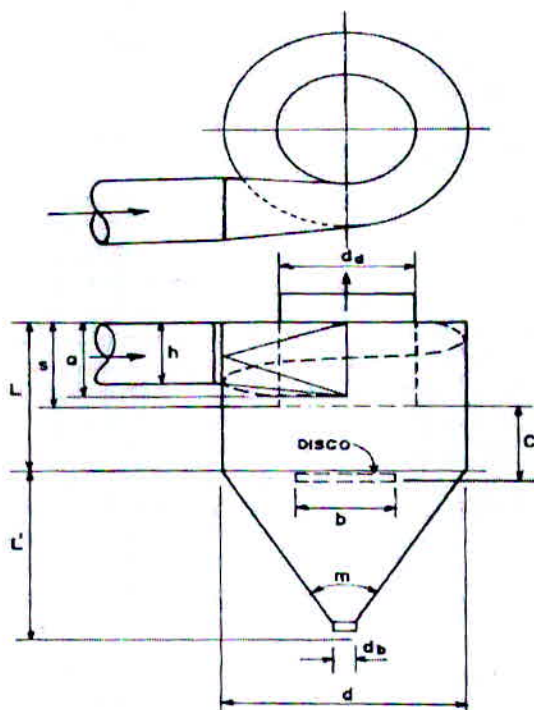


Figura 06. Sistema Ciclone com Topo Helicoidal (Fonte: Mancityre, 1990).

A figura acima (Figura 06) ilustra o funcionamento de uma sistema ciclone com topo helicoidal. A seguir uma vista superior deste sistema (Figura 07).

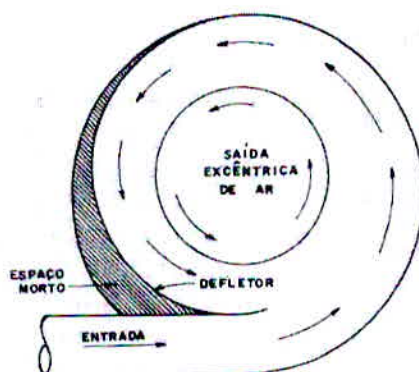


Figura 07. Vista superior do sistema Ciclone com Topo Helicoidal

2.3 Sistema de Exaustão Ciclônico Misto



O sistema ciclônico misto realiza a filtragem do ar através da lavagem do mesmo (Figura 09 e 10). O material particulado adentra o sistema de filtragem realizando um ciclone descendente e, em seguida, o material particulado entra em contato com um ciclone de água ascendente, que realiza a lavagem do ar contaminado, decantando o material particulado. O material permanece decantado no fundo do tanque, que localiza-se na base do exaustor. Logo após o ar limpo é direcionado para uma câmara superior e emitido à atmosfera (manual do equipamento de exaustão).

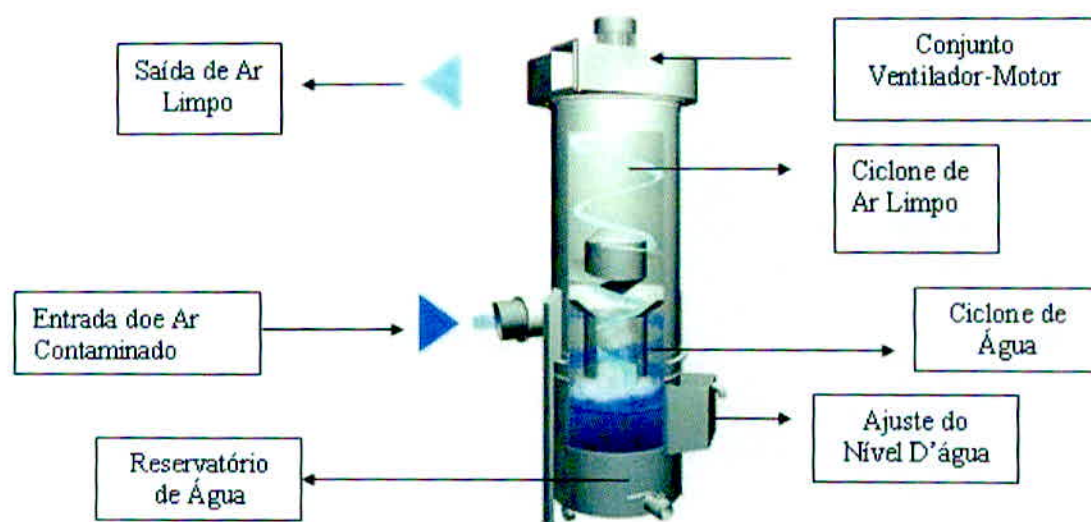


Figura 08. Imagem em corte do sistema de exaustão Ciclônico Misto (Fonte: www.handet.com)



Figura 09. Sistema de exaustão Ciclônico (Fonte: o autor)

Nas ilustrações acima podemos observar o exaustor ciclônico misto. A figura 08 apresenta uma vista em corte do sistema, e nela podemos observar os principais componentes deste sistema, e até mesmo termos uma idéia do seu principio de funcionamento.

2.3.1 Componentes do Sistema de Exaustão Ciclônico Misto

O exaustor é dividido em duas câmaras, uma inferior e outra superior. Na câmara inferior temos:

- Um reservatório de água (Figura 10.A).
- Entrada do material particulado, succionado da retífica.
- Uma câmara interna, que divide a câmara inferior em dois cilindros. O externo que abriga o ciclone descendente transportando o material particulado até o reservatório de água, e outro interno, onde temos um ciclone de água, que acompanha os gases até o separador (rotor fixo) (Figura 10.B).
- Uma chapa, que serve como um diafragma, limitando o curso do ciclone.
- Um cone, para direcionar o fluxo de fluido para a entrada do rotor fixo (Figura 10.C).
- Um canal de refluxo de água para o reservatório.

Na câmara superior temos:

- Um rotor fixo, que encaminha os gases limpos para a câmara superior (Figura 10.D).
- Porta de inspeção.
- Ventilador axial (Figura 10.E).
- Motor Elétrico (Figura 10.F).
- Saída de ar limpo à atmosfera.

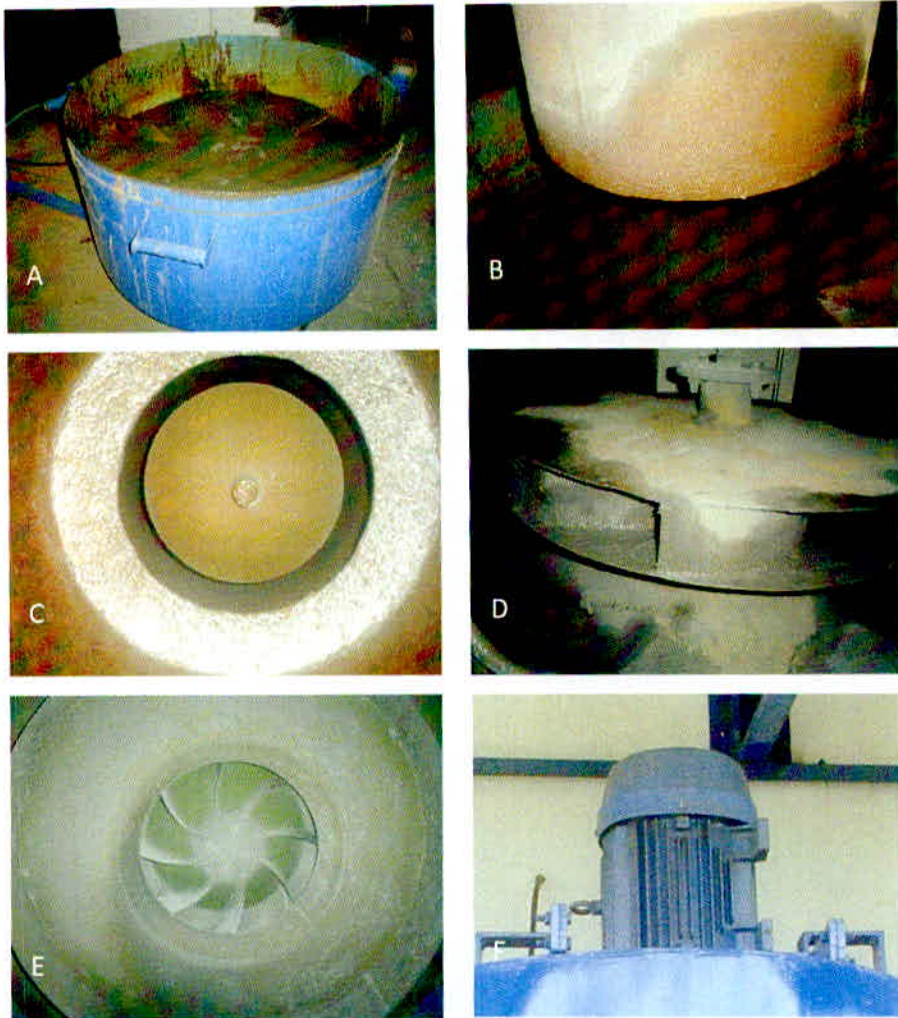


Figura 10. Componentes da câmara inferior - Reservatório de Água (coletor de material particulado ao fim do processo) (A), Câmara Interna (B), Diafragma e Cone Direcionador de Fluxo (C), e Componentes da Câmara Superior - Rotor Fixo (D), Ventilador Axial (E), Motor Elétrico (F). (Fonte: O autor)

Conhecendo os principais componentes do sistema de exaustão ciclônico misto, podemos criar as diretrizes do estudo, pois saberemos quais pontos devemos analisar.

2.4 Conjunto Ventilador-Motor

A energia necessária para o fluido movimentar-se e vencer as perdas de carga do sistema é fornecida pelo conjunto ventilador-motor. O ventilador cria um diferencial de pressão, fazendo assim com que o ar flua através do sistema. Os ventiladores podem ser classificados como: centrífugos ou axiais.

Para trabalhos pesados, destinados a movimentar fluidos com grande carga de poeira, poeiras pegajosas ou corrosivas, utilizam-se os ventiladores centrífugos. Estes ventiladores têm como característica uma eficiência baixa, em torno de 60%, e um nível mais elevado de ruído. Em contrapartida os ventiladores axiais podem atingir eficiência maior que 80% e seu funcionamento é silencioso. Em sistemas de perda de carga variável utilizam-se ventiladores axiais, pois os mesmos possuem auto-limitação de potência, o que evita a sobrecarga no motor.

Para escolhermos o melhor ventilador devemos considerar qual modelo irá nos proporcionar a vazão necessária utilizando a menor potência possível para transportar os poluentes, considerando suas características, como: temperatura, abrasividade, corrosividade, adesividade. (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2008).

2.5 Custos e Consumo

“Para realizar um estudo de eficiência energética numa instalação industrial, é necessário agir nos diferentes tipos de carga com a finalidade de verificar seu potencial de desperdício. Essas ações devem ser implementadas nos segmentos de consumo a seguir: Iluminação, Condutores Elétricos, Fator de Potência, Motores Elétricos, Consumo de água, Climatização, Ventilação Natural, entre outros” [...] “Antes de desenvolver quaisquer ações de eficiência energética que impliquem custos, deve-se inicialmente realizar um levantamento dos aparelhos elétricos instalados nos diferentes segmentos da indústria, conforme anteriormente indicado. Após obtidos esses resultados, é necessário realizar medições de parâmetros elétricos, tais como energia, demanda ativa e reativa, corrente, tensão e fator de

potência”.[...] “No caso de motores com potência acima de 5 cv mas que operam de forma contínua e com carga uniforme, basta obter uma leitura instantânea ou de pequena duração em torno de quatro horas.” (Mamede, 2010, p 552, 553)

Após a realização dos cálculos de eficiência energética, deve-se levantar o tipo de demanda em que a empresa enquadra-se perante a concessionária de energia. Existem alguns tipos de tarifas diferenciadas, que apresentam descontos para as empresas que trabalham em faixas limitadas de horários. Os três tipos disponíveis para o setor industrial são: Tarifa Azul, Tarifa Verde e Tarifa Convencional (www.cemig.com.br).

2.6 Composição do Material Particulado

O material particulado é todo poluente emitido em forma de partículas, podendo ter tamanhos variados (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2008). Para que possamos determinar o sistema de exaustão adequado e o estudo ocupacional devemos determinar qual é a composição das partículas emitidas pelo processo de retífica. Em nosso processo o Material Particulado é um composto de poeira de aço carbono, proveniente das molas desbastadas, mais poeira de rebolos.

2.6.1 Composição do Aço Carbono

O aço carbono utilizado para confecção das molas mecânicas pela empresa é normatizado segundo DIN-17223. Abaixo apresentamos a composição química do aço carbono.

Tabela 01. Composição química do aço carbono.

Material	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cu	% Fe
Limite	0-0 - 1,00	0,35 (máx.)	0-0 - 1,50	0,03 (máx.)	0,03 (máx.)	0,12 (máx.)	Resto

(Fonte: Norma DIN,1974)

É importante salientar que existe um sistema para coletar o material particulado, mas ainda assim, parte deste material não é aspirado pelo mesmo. Estas partículas acabam sendo inaladas pelos operadores. O que devemos saber é se esta emissão de material particulado está dentro dos limites de tolerância aceitos pela norma NR 15.

2.6.2 Composição dos Rebolos de Desbaste

Estes produtos também podem ser designados como rebolos em liga inorgânica, sendo este uma ferramenta abrasiva, com forma de sólido, adaptável a um eixo ou por meio de flanges. Esta “ferramenta” é constituída de materiais cerâmicos, e é recomendada para retificação e acabamento de peças. É constituído de Óxido de Alumínio Cerâmico, Óxido de Alumínio Marrom, Óxido de Alumínio Branco , e Resina Fenólica.



Figura 11. Rebolos de desbaste (Fonte: o autor)

Os rebolos (Figura 11) de desbaste são ferramentas cortantes, e determinante na retirada de material das molas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dados e Fórmulas para o Cálculo Energético de Sistema Exaustão

Para determinar as perdas de carga da tubulação reta do sistema (ΔP) será utilizada a seguinte fórmula:

$$\Delta P = 0,5 \cdot \frac{f \cdot L \cdot v^2 \cdot d}{D}$$

onde:

f: Fator de atrito do material da tubulação

L: Comprimento total da tubulação reta

v^2 : Quadrado da velocidade de escoamento do fluido

d: Densidade do fluido

D: Diâmetro da tubulação

A velocidade de escoamento será determinada através da fórmula:

$$v = \frac{Q}{A}$$

onde:

Q: Vazão do sistema

A: Área circular da tubulação

Para determinarmos a área circular aplicaremos a fórmula:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

onde:

π : Constante multiplicativa

D^2 : Quadrado do diâmetro da tubulação

O peso do material particulado será calculado utilizando-se uma caixa com capacidade máxima de 1 dm³ contendo o material particulado. O material então terá seu peso aferido descontando-se o peso da caixa, utilizando-se balança de precisão da marca Toledo, modelo 2090 XIIC. Em seguida o peso do material encontrado será multiplicado por mil, para obtenção do peso específico em kg/m³.

A Potência Utilizada (P_u) será calculada através da fórmula:

$$P_u = \frac{y \cdot Q \cdot h}{75 \cdot \eta}$$

onde:

y: peso específico do fluido ou material particulado

Q: Vazão

h: Altura manométrica

η : Rendimento do motor

Para que possamos determinar o consumo energético, serão levantados os seguintes dados do equipamento:

- Potência Utilizada.
- Tipo de Motor.
- Quantidade de horas de utilização do equipamento diariamente.

Após a coleta dos dados do equipamento, serão levantados os seguintes valores tarifários:

- Tipo de demanda (tarifa verde, azul ou convencional).
- Valor do quilowatt por hora.

Para determinarmos a quantidade de energia consumida mensalmente faremos o seguinte cálculo:

$$E_c = P_u(kW).t(h)$$

Onde:

E_c : Energia Consumida.

P_u : Potência Utilizada.

t: Tempo de Operação.

O custo da operação será calculado através da fórmula:

$$C_t = E_c(kWh).p(R\$)$$

Onde:

C_t : Custo total.

E_c : Energia consumida.

p: Preço do quilowatt por hora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Eficiência energética do sistema ciclônico misto

O sistema ciclônico misto estudado, apresenta duas câmaras, uma inferior com a utilização de água, ou seja, via úmida, e outra superior via seca. A divisão dessas câmaras é constituída de um diafragma e um rotor fixo, que direcionam o fluxo de ar do sistema. Calculamos a potência utilizada pelo sistema para succionar o material particulado proveniente da retificação das molas e emitir o ar limpo à atmosfera.

Como o sistema utiliza de forma contínua um motor elétrico de 25 CV, foi possível verificar a potência utilizada em leitura direta. Assim observou-se uma potência utilizada pelo sistema (P_{us}) de 18,75 CV, aproximadamente 11 kW. Considerando que esta potência utilizada é a energia requerida para movimentar todo o sistema misto, ou seja, desde a sucção na máquina de retífica, até o descarte do ar na atmosfera, então se calcularmos a potência necessária apenas para succionar o material particulado por via seca, saberemos qual a parcela da potência utilizada (P_{us}) é utilizada apenas para gerar o ciclone de água e vencer as perdas de carga internas do sistema.

Primeiramente determinaram-se as perdas de carga nas tubulações. Os exaustores possuem dois trechos de tubulação, um que vai da máquina de retífica até o sistema de exaustão, que é a entrada do sistema, que é de 2,5 metros, e outro na saída do sistema, que libera o ar limpo para à atmosfera, que tem 7,5 metros. A tubulação é de PVC, com 0,3 metros de diâmetro.

A fórmula utilizada para determinarmos a perda de carga é:

$$\Delta P = 0,5 \cdot \frac{f \cdot L \cdot v^2 \cdot d}{D}$$

Como o material da tubulação é de PVC temos que o fator de atrito do material (f) é 0,0015. O comprimento da tubulação reta (L) é de 10 metros. O diâmetro da tubulação (D) é de 0,3 metros. Como o sistema succiona ar e material particulado (pó de aço + pó de rebolo) a densidade dos fluidos (d) será a soma do peso específico do ar e o material particulado. O peso específico do ar (γ) é igual à 1,291 kg/m³, já o material particulado foi calculado, obtendo o valor de 18,763 kg/m³.

A velocidade (v) de sucção foi determinada através da área circular da tubulação e da vazão do sistema (Q) que é de 7.000 m³/h, ou 1,944 m³/s. Como o diâmetro (D) é de 0,3 metros, podemos calcular a área:

$$A = \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4}$$

Portanto a área (A) é de 0,0707 m², logo:

$$v = \frac{1,944 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{0,0707 \text{ m}^2}$$

Então, a velocidade (v) é de 27,502 m/s. Com estes dados podemos concluir que a perda de carga (ΔP) é:

$$\Delta P = 0,5 \cdot \frac{0,0015 \cdot 10 \cdot 27,502^2 \cdot (1,291 + 18,763)}{0,3}$$

Portanto a perda de carga na tubulação reta (ΔP) é de 379,201 N/m² ou 0,0386 mCA. Como o resultado da perda de carga na tubulação reta é muito pequeno, podemos desprezá-lo em nosso cálculo.

Sabe-se que o rendimento (η) do sistema é de aproximadamente 70%, e que a altura manométrica (h) é a soma da tubulação reta, mais a diferença entre as alturas de entrada e saída do sistema, que nos dá um total de 12,8 m. Assim, podemos determinar a potência utilizada (P_u) através da fórmula:

$$P_u = \frac{(1,291 + 18,763).1,944.12,8}{75.0,7}$$

Então a potência utilizada (P_u) pelo sistema, apenas para succionar e descartar o material particulado à seco é de 3,179 kW.

Sabendo que a perda de carga (ΔP) da tubulação reta é desprezível, que a potência utilizada (P_u) para succionar e descartar o material particulado à seco é de 3,179 kW, e que a potencial total utilizada pelo sistema (P_{us}) é de 11 kW. Podemos determinar a potência (P_p) necessária para gerar o ciclone de água e vencer as perdas de carga internas do sistema através da diferença de potências, ou seja:

$$P_p = P_{us} - P_u$$

Logo temos que a potência de perda (P_p) é igual à 7,821 kW. O que significa 71,1% da potência utilizada pelo sistema é gasta apenas para realizar o ciclone de água e vencer as perdas internas.

Este consumo pode ser mensurado monetariamente. Sabendo que o equipamento trabalha 521 horas/mês, com tarifa do tipo convencional, que tem um valor (p) de 0,19485121 R\$, sendo assim o custo (C) é de:

$$C = P_p . h . p$$

O custo total para mantermos o ciclone de água e vencermos as perdas internas é de 793,97 R\$/mês. Um custo significativo, já que o custo total de operação do sistema é de 1.116,69 R\$. A empresa estudada possui seis exaustores deste modelo, ou seja, pode-se obter uma economia aproximada de 4.763,82 R\$.

O sistema ciclônico a seco, ou seja, sem a utilização de água em seu processo, é dotado de filtros de manga, podendo obter uma eficiência superior a 99%. Considerando as

mesmas características de instalação (altura manométrica, diâmetro, material e comprimento da tubulação, vazão, entre outros) podemos eliminar as perdas de carga internas do sistema ciclônico misto, proveniente do ciclone de água e o diafragma. Sendo assim, o consumo energético do sistema ciclônico a seco, seria similar ao calculado para succionar o material particulado e emití-lo à atmosfera no sistema ciclônico misto.

Em contrapartida os sistemas ciclônicos a seco podem apresentar uma resistência maior ao final do processo, devido ao não monitoramento dos filtros de manga, uma vez que o excesso de material particulado recolhido pelos filtros pode obstruir a passagem do fluxo de ar, sobrecarregando o sistema. Para que isso não ocorra e possamos desconsiderar esta perda de carga em nossos cálculos, sugere-se a aplicação de ar comprimido para desbloquear a passagem do fluxo de ar.

Além dos resultados de economia no consumo de energia, também devemos observar o custo para o tratamento dos resíduos sólidos do processo de exaustão. Hoje a empresa tem um gasto mensal (médio) de R\$ 3.000, para que a lama (água + material particulado) encontrada nos tanques dos exaustores seja recolhida e tratada. Este valor deverá reduzir significativamente, já que o material recolhido não conterá água, tornando-se mais leve e de maior facilidade de tratamento.

Para fins desta pesquisa iremos desprezar as perdas de cargas dos filtros mangas e também o custo do tratamento dos resíduos do processo.

4.2 Registros Ocupacionais

Após um levantamento do histórico da empresa, constatou-se que apenas uma vez foi realizado o estudo de avaliação de poeira Silica. Este estudo foi realizado em maio de 2002. As avaliações foram realizadas nos postos de trabalho, de um operador de retífica, de acordo

com as normas internacionais, e posteriormente os resultados foram comparados à legislação vigente, de acordo com as determinações constantes da PORT 3.214/78 do Ministério do Trabalho, Norma Regulamentadora NR 15 – ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSLUBRES ANEXO N° 11 Agentes químicos cuja a Insalubridade é caracterizada por Limite de Tolerância e Inspeção no Local de Trabalho, e Anexo N° 12 Limites de Tolerância para Poeiras Minerais.

Quando analisados os compostos dos materiais geradores de poeira, pode-se observar a ausência de silicato no processo, ou seja, o estudo realizado em 2002 não é válido. O laudo técnico dos rebolos (Anexo B), e um modelo de certificado de qualidade dos arames de aço carbono (Anexo C) seguem em anexo, como prova comprobatória da questão. Sendo assim a real situação da empresa jamais foi mensurada, portanto não sabemos se a empresa está cumprindo as normas legais.

Para que a empresa possa adequar-se as normas vigentes e descobrir sua real situação fabril, propomos um estudo ocupacional para mensurar a quantidade de poeira metálica gerada pelo processo. A metodologia proposta cumpre as exigências da ACGIH.

Quanto a situação ambiental, não se pode obter nenhum resultado, já que nenhum registro foi encontrado.

CONCLUSÃO

Mediante aos valores de consumo energético encontrados neste estudo, podemos concluir que o sistema ciclônico a seco é mais economicamente viável para a empresa. O sistema atual gasta em média R\$ 1.116,69 mensais, para se manter em operação, já o sistema ciclônico a seco, teria um gasto aproximado de R\$ 323,72, ou seja, 71,1% mais econômico.

Os processos fabris, mesmo quando projetados para a mesma finalidade, apresentam particularidades, estas devem ser consideradas, pois não existe sistema perfeito, e sim o ideal para um determinado processo. Neste trabalho pôde-se observar uma economia energética, e sendo assim financeira, do sistema de exaustão ciclônico a seco quando comparado ao sistema de exaustão ciclônico misto. Mas para que possamos efetuar a troca do equipamento outras variáveis devem ser observadas. Não podemos garantir que o sistema ciclônico a seco, apresentado em nosso estudo como o mais econômico, seja o ideal para este processo. Isso significa que não podemos comprovar sua maior eficácia apenas com os dados levantados.

Em contrapartida, pode-se comprovar a importância de se realizar uma comparação entre equipamentos, pois apenas desta maneira podemos buscar soluções, e alternativas, para diminuirmos os gastos com a utilização dos equipamentos. O consumo de energia é um gasto fixo no orçamento da empresa, não há como produzir sem o consumo da mesma.

Uma das funções de um engenheiro é buscar meios de aumentar a lucratividade da empresa, mesmo quando o mercado não nos abre portas necessárias para o mesmo. Para isso o mesmo deve conhecer o funcionamento do seu equipamento, e seus pontos de melhorias potenciais, e assim focar-se na maximização dos processos, minimizando seus custos de operação.

Outro ponto que se deve observar com grande atenção neste estudo é a realização de um estudo ocupacional sem validade, realizado por um terceiro, ludibriando a empresa contratante do serviço. A falta de profissionalismo do executor expôs a saúde dos operadores, pois em um processo fabril, gerador de material particulado, há um risco potencial a ser considerado. A frequência da realização deste tipo de estudo também é preocupante, uma vez que o lay-out da empresa foi alterado inúmeras vezes através da aquisição de equipamentos e

nenhuma medida foi tomada. Este tipo de situação ocorre na maioria das empresas brasileiras, seja por falta de informação, por descaso, ou, como podemos observar, pela falta de ética de alguns profissionais.

Não se pôde concluir o estudo ambiental, já que não foram encontrados registros do mesmo, portanto sugere-se um monitoramento da emissão de material particulado à atmosfera.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONFERENCE FOR GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS-ACGIH. **About ACGIH**. Disponível em: www.acgih.org. Último acesso em 25 de outubro de 2010

BRAGA, B. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2005.

DIN- TASCHENBUCH 29. Federnormen. Zweite, Geänderte Auflage. Hrsg.: Deutscher Normenausschub (DNA). Berlin, 1974, 228 p.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. 1990. 403p.

PEREIRA, A. D. **A Atuação do Ministério Público na Aplicação das Normas de Higiene Ocupacional**. Monografia de curso de especialização em Higiene Ocupacional apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. 124 p.

SOUZA, Z. **Dimensionamento de máquinas de fluxo**. Ed. Edgar Blücher LTDA. São Paulo. SP. 266p.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada. **Higiene do Trabalho Parte C – Introdução a Ventilação**. Apostila do curso de Segurança do Trabalho, 2008. 333p.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8º ed. Rio de Janeiro. LTC, 2010.

ANEXO A - INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA AMOSTRAGEM OCUPACIONAL

Metodologia de Avaliação para Poeiras Metálicas

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH
2. NIOSH Manual of Analytical Methods
3. Anexos 11 e 12 da NR-15, Portaria 3214/78 de Ministério do Trabalho e Emprego

Aspectos Legais

A Norma Regulamentadora NR 15, aprovada pela Portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho e Emprego, Anexos nº 11 e 12, estabelece limites de tolerância para os agentes químicos, porém, não defini limites para o material particulado emitido no processo da empresa. Deve-se utilizar os valores limites de exposição (Threshold Limit Values – TLVs) da ACGIH, que foram desenvolvidos como guias de orientação para o controle dos riscos à saúde. É importante frisar que a validade dos TLVs pode se alongar por anos, enquanto os valores ali publicados permanecerem intactos. (Fiemg, SESI. Relatório de Levantamento de Riscos Ambientais, 2009).

Instrumentos

Amostrador gravimétrico em pequeno volume, para efetuar coletas de material particulado em suspensão retido em cassete com filtro membrana de éster de celulose de 0,8B – 37mm. Instrumento de calibração, para garantir a exatidão das medições, efetuando calibração inicial e final. (Fiemg, SESI. Relatório de Levantamento de Riscos Ambientais, 2009).

Metodologia de Avaliação

A amostra deverá ser colhida ao nível respiratório, com o instrumento afixado ao trabalhador, acompanhando-o em suas atividades, aspirando a poeira metálica resultante da operação, sendo anotados na planilha os detalhes das operações executadas. (Fiemg, SESI. Relatório de Levantamento de Riscos Ambientais, 2009)

Métodos a serem empregados

Calibração da vazão inicial e final, determinando a vazão média, conforme recomenda a citada norma. Os procedimentos devem ser conduzidos segundo o método NIOSH 7303 para metais – Espectrofotometria de absorção atômica. (Fiemg, SESI. Relatório de Levantamento de Riscos Ambientais, 2009).

ANEXO B



Rua São Paulo, 600 – Vinhedo – SP – Cx. P. 09 – CEP 13280-000
Fone: PABX (19) 3876-1579 – Fax (19) 3876-1904 / 3886-1360
e-mail: alcar@alcar.com.br

Vinhedo, 27 de outubro de 2010.

A
Mercomolas
A/C.: Sr. Junio

Referente: **Não utilização de sílica**

Prezados Senhores

A Alcar Abrasivos Ltda. vem por meio desta, informar-lhes que não fazemos uso de Sílica para fabricação de nenhum de nossos produtos, seja Rebolo, Discos ou Lixa.




Desta forma, não existe a possibilidade de inalação desta substância, durante a utilização de nossos produtos, desde que os mesmos não sejam utilizados para retificação de peças com Sílica em sua composição.

Quaisquer dúvidas estamos a disposição.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paulo Cremasco Neto', is written over a horizontal line.

Paulo Cremasco Neto
Qualidade Assegurada

ANEXO C

Belgo Bekaert Arames		CERTIFICADO DA QUALIDADE		CERTIFICADO N° 0000000070735		Pag. 1/ 1	
 Bekaert Arames - parte da subsidiária da Bekaert Avenida General David Sarroff, 303-A Cidade Industrial - Contagem - MG Cep: 32210-110		Cliente: 41011528 MERCOMOLAS INDUSTRIA DE MOLAS LTDA Ordem: 3721090 - 30 Data de Impressão: 26/10/2010 Fornecimento: 0300321902 Pedido do Cliente: e-mail 18.08 Material: 40050729 AR. ATC P/M. MEC. CL C DIN 1723/64 Produto do Cliente: Norma: DIN17223					
Análises Químicas							
	Al	C	Mn	P	S	Si	
Corrida N°	%	%	%	%	%	%	
6805105	0.0018	0.8300	0.5200	0.0105	0.0080	0.1890	
Propriedades Mecânicas / Metalúrgicas							
	Diâmetro	Estrecho	Resist. Inicial	Torcão 100x0			
Volume	Min	40	1.932	22			
	Max	2,42	2.128				
	Um	mm	MPa				
6102081095	2,41	56	2.001	38			
6102081096	2,41	56	2.001	37			
6102081097	2,41	56	2.010	36			
6102081098	2,41	56	2.040	36			
6102081099	2,41	56	2.040	36			
6102081100	2,41	53	2.079	37			
6102081101	2,41	53	2.020	36			
6102081102	2,41	53	2.040	36			
6102081103	2,41	51	1.981	36			
GARANTIMOS VALORES DE TEOR DE COBRE INFERIORES A 0,12% O ARAME E PRÉ-FOSFATIZADO							
A BELGO BEKAERT NÃO SE RESPONSABILIZA POR CÓPIAS REPRODUZIDAS PARA FOMENTO A TERCEIROS. BELGO BEKAERT DOES NOT ACCEPT RESPONSABILITY FOR COPIES THAT MAY BE REPRODUCED TO SUPPLY THIRD PARTIES. BELGO BEKAERT NI SE RESPONSABILIZA POR CÓPIAS REPRODUZIDAS PARA TERCEIROS.							
Diâmetro:		2.400 mm		Nota Fiscal:		000229752	
Quantidade:		2.205.000		Emitida em:		26/10/2010	
Peso Líquido NF:		2.205.000		Data de Criação:		26/10/2010	
				 Wilson Luiz de Faria Responsável pelo Laboratório Físico e Metalográfico			