

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG
ENGENHARIA MECÂNICA
PEDRO PAULO LEANDRO DO CARMO

CONTROLE AMBIENTAL PARA CALDEIRAS DE COMBUSTÃO A LENHA
“CICLONES”

Varginha
2011

FEPESMIG

PEDRO PAULO LEANDRO DO CARMO

**CONTROLE AMBIENTAL PARA CALDEIRAS DE COMBUSTÃO A LENHA
“CICLONES”**

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. Msc. Alexandre Oliveira Lopes.

Varginha
2011

FEPESMIG

CONTROLE AMBIENTAL PARA CALDEIRAS DE COMBUSTÃO A LENHA "CICLORES"

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Minas Gerais, em cumprimento das exigências para a obtenção do título de Engenheiro de Minas e Metalurgia, sob a orientação do Engenheiro de Minas e Metalurgia, Dr. Pedro Paulo Fernando de Carvalho.

Assinatura do Autor: 
Assinatura do Orientador: 
Data: _____

Dedico este trabalho à minha família pelo esforço e dedicação em me mostrarem que o estudo é essencial para a vida de qualquer ser humano, e a todos os professores que me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor através do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele, nada seria possível. À minha família, que com amor, me mostrou os caminhos certos a seguir e o quão longe podemos ir. A todos os amigos e colegas de trabalho com os quais aprendi muito e confiaram em minha jornada.

"Seja você quem for, seja qual for à posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá."

Ayrton Senna

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado na empresa Linhanyl, situada na cidade de Paraguaçu no Sul de Minas Gerais, referindo-se ao controle de emissão de poluentes atmosféricos, resultantes especificamente da exaustão de uma caldeira de combustão a lenha. Este trabalho traz como objetivo, demonstrar e comprovar a eficiência da tecnologia dos ciclones, como solução eficaz e de baixo custo para a retenção das partículas indesejáveis, resultantes do processo de combustão de caldeiras a lenha. Inicialmente o estudo abordará tópicos importantes para melhor compreensão do tema e em seguida irá demonstrar os resultados obtidos em campo, de que se realmente é eficiente o uso do ciclone como um método de controle de emissão poluente. A utilização do ciclone é uma opção simples, comum e que propicia além dos possíveis benefícios ambientais, vantagens de custo de instalação, operação e manutenção para as indústrias de pequeno e grande porte.

Palavras-chave: Caldeira á Lenha. Combustão. Ciclones. Controle Ambiental.

ABSTRACT

This paper presents a case study in Linhanyl company, located in the city of Paraguassu in southern Minas Gerais, referring to control emissions of air pollutants, resulting specifically from the exhaust of a combustion boiler burning. This work has as objective to demonstrate and prove the efficiency of cyclone technology as cheap and effective solution for the retention of the unwanted particles resulting from the combustion process of solid fuel boiler. First, this study will address important topics to better understand the issue and then will demonstrate the results obtained in the field, whether it's efficient use of multi-cyclone as a method of controlling pollutant emissions. The use of cyclone is a simple option, which provides common and beyond the possible environmental benefits, cost benefits of installation, operation and maintenance industries for large and small.

Keywords: *Fired Boilers. Combustion. Cyclone. Environmental Control.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Esquema das camadas Atmosféricas	15
Figura 02 – Escala de Fumaça de Ringelmann	19
Figura 03 – Sistema de Medição Ponto a Ponto.....	20
Figura 04 – Princípio de Funcionamento de uma Caldeira a Vapor	24
Figura 05 – Princípio de Funcionamento do Ciclone Tangencial com Topo Helicoidal	25
Figura 06 – Caldeira Flamotubular sem Ciclone	28
Figura 07 – Caldeira Flamotubular com Ciclone Instalado	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Características das Partículas Poluidoras	16
Quadro 02 – Características dos Movimentos e Tamanho das Partículas.....	18
Quadro 03 – Características da Escala de Ringelmann	19
Quadro 04 – Padrões de Emissão de Poluentes Atmosféricos	22
Quadro 05 – Eficiência de Coletores de Material Particulado x Tamanho das Partículas	26
Quadro 06 – Primeira Medição do Chaminé.....	30
Quadro 07 – Primeira Média dos Resultados Obtidos	30
Quadro 08 – Segunda Medição do Chaminé.....	31
Quadro 09 – Segunda Média dos Resultados Obtidos	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Comburente	12
2.2 Combustível (madeira ou lenha).....	12
2.3 Combustão	14
3 ATMOSFERA	14
3.1 Poluição	15
3.2 Conceito e classificação dos poluentes atmosféricos	15
3.3 Efeito da poluição sobre a saúde humana.....	16
3.4 Efeito da poluição sobre a vegetação	17
3.5 Efeito da poluição sobre a fauna.....	17
4 MATERIAL PARTICULADO	18
4.1 Escala ringelmann	18
4.2 Amostrados isocinético para fontes estacionárias.....	20
4.3 Motivo para medição das emissões	21
4.4 Motivo para medição das imissões.....	21
4.5 Legislação brasileira	21
5 CALDEIRAS A VAPOR	23
5.1 Classificação das caldeiras a vapor.....	23
5.2 Princípio de funcionamento das caldeiras a vapor	23
6 CICLONE TIPO TANGENCIAL	25
6.1 Princípio de funcionamento do ciclone tipo tangencial	25
6.2 Eficiência dos ciclones.....	26
6.3 Vantagens x desvantagens dos ciclones	26
7 A EMPRESA ESTUDADA	27
8 ESTUDO DE CASO	28
8.1 Equipamento.....	28
8.2 Aplicação do vapor.....	29
9 MEDIÇÕES E ANÁLISES REALIZADAS	30
9.1 Primeira medição sem o ciclone.....	30
9.2 Segunda medição com o ciclone instalado.....	31
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com o crescimento acentuado da população, faz-se necessário o aumento da produção dos bens industrializados em progressão geométrica para atender a demanda exigida pelo mercado, no entanto, não basta mais apenas produzir pensando em volume de produção e qualidade, é necessário produzir se preocupando com o conceito da sustentabilidade, que visa garantir a integridade física dos recursos energéticos naturais existentes, a integridade do meio ambiente e das pessoas e animais inseridos neste meio.

Este trabalho procura demonstrar e comprovar através de um estudo de caso realizado na empresa Linhanyl, a eficiência da tecnologia dos ciclones, como uma possível solução eficaz e de baixo custo para a retenção das partículas indesejáveis, resultantes do processo de combustão de caldeiras, que utilizam a lenha como combustível, para a produção de vapor para as linhas de produção.

O trabalho a seguir busca apresentar em uma sequência julgada ideal, definições e referências importantes para o tema estudado, de maneira a melhor inteirar o leitor da alta seriedade dos problemas relacionados à qualidade do ar do nosso meio ambiente, e daí, a necessidade de se ter um controle mais rígido para as fontes estacionárias emissoras de materiais particulados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Comburente

O comburente é todo elemento que, quando associado quimicamente ao combustível, é capaz de fazê-lo entrar em combustão. Em resumo, a substância mais comum utilizada como comburente é o oxigênio, ele é responsável alimentar o processo de combustão.

2.2 Combustível (Madeira ou Lenha)

O combustível é um material que pode ser encontrado nos 3 estados físicos da matéria, sólido, líquido e gasoso, cuja queima é utilizada para produzir calor, energia ou luz.

É provável que uma das fontes mais antigas e óbvias de energia de biomassa seja a madeira, contudo muitos problemas decorrem desta prática de exploração da madeira, caso não ocorra um trabalho de reflorestamento do meio ambiente, por exemplo, erosão do solo, enchentes, desabamentos e perdas de nutrientes do solo para a produção agrícola. Em caldeiras a madeira de eucalipto é comumente utilizada para queima devido ao seu alto poder calorífico útil de aproximadamente 4100 kcal/kg seco, este número pode reduzir para mais da metade se considerarmos uma umidade de 50% desta madeira, aumentando o consumo de lenha de uma caldeira.

Ambientalmente, as emissões de óxidos de enxofre e nitrogênio a partir da combustão da madeira são baixas na atmosfera. Todavia, as emissões de carbono e materiais particulados orgânicos e inorgânicos, incluindo moléculas carcinogênicas de compostos são maiores que as de fornalhas a petróleo ou a gás. (Hinrichs ; Kleinbach, 2003).

2.3 Combustão

O termo combustão é definido como uma reação química em cadeia que resulta na liberação de energia na forma de calor e emissão de luz. Esta reação caracterizada exotérmica ocorre sempre a partir de uma fonte de energia inicial, capaz de iniciar uma reação de oxidação em alta temperatura, tornando o processo de combustão auto ativante até a extinção completa do combustível ou do comburente da reação química. A combustão pode ocorrer nas seguintes formas:

- a) Combustão Completa – Neste tipo de combustão a proporção do comburente e combustível é ideal e garante a queima completa da mistura. Assim, pode-se afirmar que este tipo de combustão oferece maior rendimento de energia e menor nível de poluição;
- b) Combustão Incompleta – Na combustão incompleta a proporção de oxigênio é baixa para combinar com os átomos do combustível a ser utilizado. Desta forma, este tipo de reação resulta em um rendimento menor de energia, na perda e gasto excessivo de combustível, e na presença de fuligem e monóxido de carbono em alta concentração na atmosfera;
- c) Combustão Parcial – A combustão parcial é intermediária em comparação com as duas formas citadas anteriormente, a diferença é que o nível de oxigênio na mistura não se apresenta saturado como na combustão completa. Entretanto, há como consequência da reação, a emissão de monóxido de carbono e fuligem em menor quantidade na atmosfera, em relação à quantidade emitida na combustão incompleta.

3 ATMOSFERA

A atmosfera é o nome dado à camada gasosa que envolve os planetas. O ar que respiramos da atmosfera quando puro é invisível, inodoro e insípido (Vieira, 2009,). Os principais constituintes do ar que respiramos atualmente em distribuição percentual são:

Nitrogênio = 78,11%

Oxigênio = 20,95%

Argônio = 0,934%

Gás Carbônico = 0,033%

Pode-se afirmar que 99% do ar atmosférico está situado em uma fina camada que recobre a terra, se localizando nos primeiros 30 km de altitude, sendo que, 50% estão concentrado nos primeiros 5 km da troposfera.

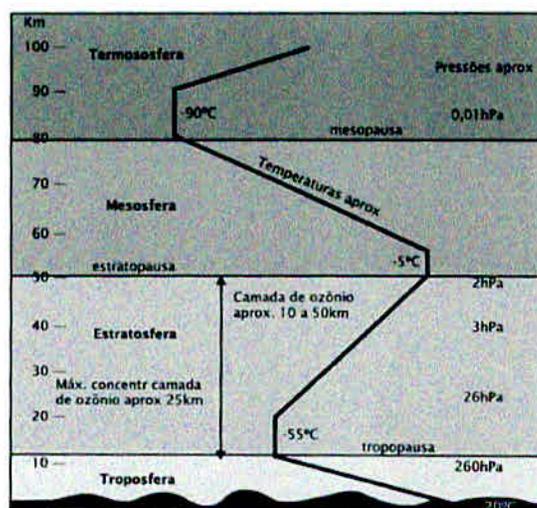


Figura 01- Esquema das camadas Atmosféricas. Fonte: (Myspac, 2005).

3.1 Poluição

A Poluição é parte integrante da sociedade industrial, isto é, uma das consequências da geração de energia útil pelo processo de combustão. Seus efeitos no meio ambiente estão ligados a problemas de ordem política, social e econômica. (Wark & Warner, 1976).

3.2 Conceito e classificação dos poluentes atmosféricos

Os poluentes atmosféricos são partículas resultantes de processos naturais e processos forçados pelo homem. Desta forma, as fontes poluidoras são interpretadas como qualquer processo natural ou não, que possa emitir matéria ou energia para a atmosfera, tornando esta contaminada.

As reações que ocorrem na atmosfera são dependentes das concentrações dos poluentes no ar, das variáveis meteorológicas, da radiação solar, da topografia e do tipo de atividade industrial local. (Vieira, 2009, p.35).

Os poluentes do ar podem ser classificados na seguinte forma:

- a) Primários são aqueles emitidos diretamente no ar, por exemplo: dióxido de enxofre, monóxido de carbono, material particulado, etc;
- b) Secundários são poluentes que são formados na atmosfera por meio de reações químicas (hidrólise, oxidação, reações fotoquímicas) e condições físicas, por exemplo, o dióxido de enxofre reage com o oxigênio formando tri-óxido de enxofre, que reage com o vapor de água formando o ácido sulfúrico.

O quadro abaixo apresenta uma síntese das principais fontes de emissão de poluentes do ar e dos poluentes emitidos.

<i>Fontes</i>	<i>Poluentes</i>
Fontes estacionárias Combustão	Material particulado, dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
Processo industrial	Material particulado (fumos, poeiras, névoas), gases – SO ₂ , SO ₃ , HCl, hidrocarbonetos, mercaptanas, HF, H ₂ S, NO _x .
Queima Resíduo Sólido	Material particulado. Gases – SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x
Outros	Hidrocarbonetos, material particulado.
Fontes móveis Veículos Gasolina/Diesel Álcool, Aviões, Motocicletas, Barcos, Locomotivas, Etc.	Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, dióxido de enxofre, ácidos orgânicos.
Fontes naturais	Material particulado – poeiras Gases – SO ₂ , H ₂ S, CO, NO, NO ₂ , hidrocarbonetos
Reações químicas na atmosfera Ex: hidrocarbonetos + óxidos de nitrogênio (luz solar)	Poluentes secundários – O ₃ , aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímicos, etc.

Quadro 01 – Características das Partículas Poluidoras. Fonte: (Vieira, 2009, p.36).

3.3 Efeitos da poluição sobre a saúde humana

Os efeitos da poluição do ar na saúde da sociedade vêm sendo reconhecido há muito tempo. Segundo (Vieira, 2009, p.58) Estima-se que o consumo de ar inalado por uma pessoa é de 10 a 20 mil litros de ar por dia. Desta forma os poluentes podem causar danos a saúde humana de maneira rápida e em distintos graus de severidade, desde uma leve irritação até uma morte prematura.

De acordo com (Vieira, 2009, p.58) Os danos irão depender do tipo e quantidade de poluentes, da duração de exposição, da idade do indivíduo e das condições físicas e de saúde da pessoa exposta.

Os principais problemas que podem ocorrer com o excesso da poluição são:

- a) Irritação das vias aéreas;
- b) Alergias;
- c) Enfraquecimento do Sistema Imunológico;
- d) Doenças Cardiovasculares;
- e) Doenças Cancerígenas;
- f) Alterações Genéticas.

3.4 Efeitos da poluição sobre a vegetação

Os efeitos da poluição sobre a vegetação pode não somente prejudicar o desenvolvimento de plantas, mas pode causar o aumento de doenças, pestes e até a interrupção total do processo reprodutivo de uma espécie vegetal.

Os danos podem ocorrer de forma aguda ou crônica e são ocasionados pela redução da penetração da luz, com consequente redução da capacidade fotossintetizadora, geralmente por deposição de partículas ou dissolução de gases no solo, pela penetração dos poluentes através dos estômatos, que são pequenos poros na superfície das plantas. (Assunção, 1998).

3.5 Efeitos da poluição sobre a fauna

Quanto aos animais os efeitos dos poluentes incluem enfraquecimento do sistema respiratório, danos aos olhos, redução da resistência imunológica, aumento do “stress” e redução da capacidade de reprodução.

4 MATERIAL PARTICULADO

Denomina-se como material particulado a classe de poluentes constituída de poeiras, fumaças e todo o material sólido e líquido, que devido ao pequeno tamanho, se mantem suspenso na atmosfera, quando expelidos pelas chaminés e dutos de exaustão industriais (IBRAM, 2010).

O material particulado comumente conhecido como fuligem é formada devido a uma mistura inadequada entre os reagentes da combustão.

O comportamento das partículas na atmosfera depende principalmente do seu tamanho que pode variar de 0,001 a 500 μm . O tamanho da partícula suspensa também está relacionado com a velocidade de deposição da mesma. (Carvalho Jr. & Lacava, 2003)

Logo, por sua vez, as partículas maiores irão se depositar com maior velocidade no solo, enquanto as menores irão permanecer por mais tempo suspensas no ar. As características gerais das partículas em razão de seu tamanho são mostradas abaixo na tabela 1.

Tamanho	Velocidade de deposição	Características do movimento
< 0,1 μm	$4 \times 10^{-5} \text{ cm.s}^{-1}$ a 0,1 μm	Movimento aleatório, similar ao de moléculas de gás.
0,1 – 20 μm	$4 \times 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ a 1 μm	Partículas seguem o movimento do gás no qual se encontram.
> 20 μm	30 cm.s^{-1} a 100 μm	Partículas depositam-se facilmente.

Quadro 02 – Características dos Movimentos e Tamanho das Partículas Fonte: (CARVALHO JR. ; LACAVA, 2003, p.22).

4.1 Escala ringelmann

A escala Ringelmann foi um dos primeiros métodos para avaliação de fumaça criada em 1898. O uso deste método é normatizado na legislação brasileira e comumente utilizado para avaliação em campo, conforme NBR 6016 de Agosto de 1986.

A escala Ringelmann é uma escala gráfica para avaliação colorimétrica visual, constituída de um cartão com linhas de tonalidades de cinza em densidades e larguras correspondentes aos padrões de 1 a 5, impressas com tinta preta sobre um papel branco fosco.

O observador deve segurar a escala de Ringelmann reduzida com o braço esticado e olhando através da abertura da mesma para o ponto de medição contra um fundo claro, preferencialmente branco, deve avaliar o teor de fuligem, determinando qual dos padrões mais se assemelha a tonalidade do gás emitido. (NBR 6016, p. 02).

A escala Ringelmann também pode ser encontrada em formato de cartão de papelão redondo, com um buraco no centro, no qual existe um pentagrama de 1 a 5 com variações de cores em escalas de cinza, para comparar a fumaça que está sendo emitida por um determinado equipamento, com as cores existentes da escala.

<i>Escala de Ringelmann</i>	<i>Largura das linhas pretas (mm)</i>	<i>Largura dos espaços brancos (mm)</i>	<i>Porcentagem negro</i>
0	Toda branca		0
1	1	9	20
2	2,3	7,7	40
3	3,7	6,3	60
4	5,5	4,5	80
5	Toda preta		100

Quadro 03- Características da Escala de Ringelmann. Fonte: (NBR 6016, 1986, p.01).

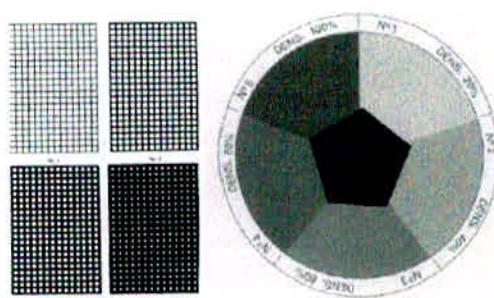


Figura 02- Escala de Fumaça de Ringelmann . Fonte: (Stern, 1968).

4.2 Amostrador isocinético para fontes estacionárias

O CIPA (Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos) é um equipamento utilizado para obter amostras do material particulado suspenso em uma corrente gasosa que saem de chaminés industriais.

A coleta do material particulado é feita isocineticamente ponto a ponto e sua massa é determinada gravimetricamente. Simultaneamente o equipamento durante a coleta é capaz de determinar o volume de gás amostrado, e assim se pode definir a concentração de material particulado obtido pela relação massa x volume.

O tempo de amostragem deste equipamento não deve ser inferior à 1 hora e volume mínimo de coleta deve ser de 1Nm^3 . Segundo a norma (NBR 10701) que determina os pontos para os procedimentos de amostragem, a medição deve se realizada em 08 pontos distintos para seção transversal com diâmetro interno entre 0,3 e 0,6 metros e 12 pontos para seção transversal com diâmetro interno de maior que 0,6 metros.

Sistema de Medição em um Ponto

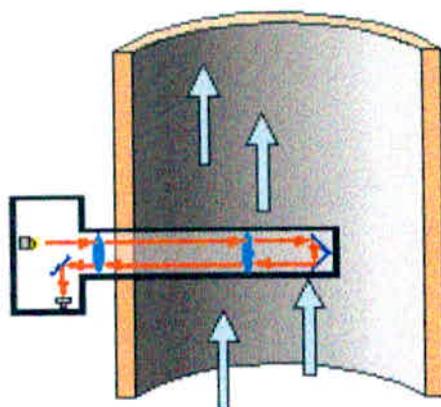


Figura 03– Sistema de Medição Ponto a Ponto. Fonte: Quimitron (2007).

4.3 Motivos para a medição das emissões

- a) Controle de processo poluidor;
- b) Controle de padrões de emissão;
- c) Controle de eficiência do equipamento;
- d) Avaliar a consequência causada pela mudança de um processo;
- e) Avaliar a formação de poluentes dentro do processo.

4.4 Motivos para a medição das imissões

- a) Calcular a trajetória dos poluentes na atmosfera;
- b) Determinar a exposição aos poluentes;
- c) Gerar relatórios sobre a qualidade do ar;
- d) Avaliar o impacto de novas fontes de emissão;
- e) Determinar a deposição de particulados na flora e fauna.

4.5 Legislação brasileira

No Brasil, o órgão estadual responsável por estabelecer os padrões para emissão de poluentes na atmosfera é o COPAM (Conselho de Política Ambiental), através da deliberação normativa nº01, de 24/02 de 1992. O FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente) tem por finalidade executar em âmbito estadual a política de proteção e melhoria da qualidade ambiental. Em casos onde o órgão ambiental local não possui limites pré estabelecidos, o emissor deverá atender a resolução federal do órgão consultivo a nível nacional, o CONAMA, (Conselho Nacional do Meio Ambiente), nº 382, de 26 de dezembro de 2006.

Segundo, (Conama nº 264/1999) os limites de emissão de poluentes poderão ser mais restritivos, a critério do Órgão Ambiental local, em função dos seguintes fatores:

- a) Capacidade de Dispersão Atmosférica dos Poluentes;
- b) Variações climáticas do local;
- c) Variações do relevo local;
- d) Intensidade de ocupação industrial;
- e) Valores de qualidade do ar do local;
- f) Saúde local da população.

Abaixo, segue quadro com os padrões de emissão de poluentes permitidos para caldeiras, de acordo com o tipo de combustível utilizado.

DIVERSAS	caldeiras e fornos a óleo (5)	SO ₂	5000 gSO ₂ /10 ⁶ kcal	Instalações com Potência Nominal Total ≤ 70 MW (6)	
			2000 gSO ₂ /10 ⁶ kcal		Instalações Novas com Potência Nominal Total > 70 MW (6)
			2750 g SO ₂ /10 ⁶ kcal		
	caldeiras a óleo	MP	100 mg/Nm ³	caldeiras que utilizam como combustível bagaço de cana, resíduos de beneficiamento de cereais, aglomerados de madeira e outros resíduos de matéria orgânica permitidos.	
	caldeiras a lenha	MP	200 mg/Nm ³		
	caldeiras a biomassa	MP	600 mg/Nm ³		
fontes listadas	não MP	150 mg/Nm ³			
		SO ₂	2500 mg/Nm ³		

Quadro 04 – Padrões de Emissão de Poluentes Atmosféricos. Fonte: (Deliberação Normativa nº 01/92 - COPAM).

5 CALDEIRA A VAPOR

As caldeiras a vapor se definem como equipamentos destinados a produzir e acumular vapor, sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia. (Ministério do Trabalho, 1996).

5.1 Classificação das caldeiras a vapor

Atualmente as caldeiras a vapor podem se apresentar na forma vertical ou horizontal de acordo com o projeto e local de instalação. Elas são capazes hoje de produzir mais de 10 toneladas de vapor por hora, e ainda assim a tecnologia empregada neste equipamento continua se desenvolvendo na busca de maior produção de vapor, economia de combustível e segurança na operação e manutenção dos geradores de vapor.

Atualmente segundo o Ministério do Trabalho (NR-13, 2008) classifica as caldeiras em 3 categorias, conforme segue:

- a) Caldeiras da Categoria A – São aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kpa (19,6 bar = 18,98 kgf/cm²);
- b) Caldeiras da Categoria C – São aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kpa (5,88 bar = 5,99 kgf/cm²);
- c) Caldeiras da Categoria B – São todas as demais caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

5.2 Princípio de funcionamento de caldeiras a vapor

A produção industrial de vapor se baseia basicamente em um processo de 4 etapas:

- a) O calor produzido pela combustão da mistura ar/combustível na fornalha vaporiza e pressuriza a água presente externamente e em contato com os tubos existentes no interior do corpo cilíndrico da caldeira;

- b) O vapor produzido tende a expandir suas moléculas, e sair da caldeira a custa da própria pressão. Assim o vapor é transportado para o local onde sua energia térmica e cinética serão aproveitadas com uma finalidade pré-definida em projeto com uma temperatura, vazão e pressão estabelecida como mínima necessária;
- c) O uso onde quer que seja é uma transferência de calor, que na medida em que se transfere a energia produz-se água condensada;
- d) A água condensada resultante da queda de energia térmica transferida para outro sistema pode ser captada e reaproveitada em um ciclo fechado. Já os gases resultante da combustão que realizaram o aquecimento da água, após atravessarem os tubos, se direcionam para os chaminés das caldeiras, pelo auxílio de um exaustor. Estes gases prejudiciais à saúde necessitam ser tratados e limpos antes de serem lançados na atmosfera.

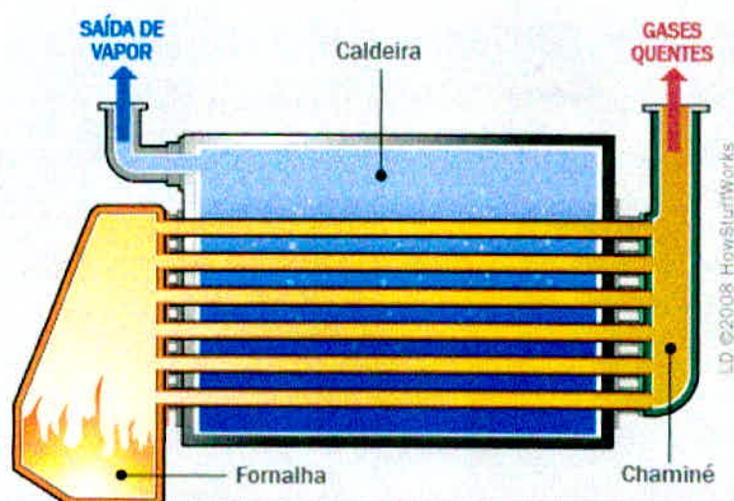


Figura 04– Princípio de Funcionamento de uma Caldeira a Vapor. Fonte: HowStuffWorks, (2008).

6 CICLONE TIPO TANGENCIAL

Os coletores do tipo câmara inercial ou ciclones, são equipamentos simples e de fácil construção, que utilizam a força centrífuga e inercial, para a coleta de partículas com maior tamanho e maior peso, que são resultantes do processo de combustão e eliminados através das chaminés.

Segundo (Macintyre, 1990) devido à inércia, uma partícula tende a conservar sua trajetória retilínea, e esta trajetória só será alterada pela aplicação de uma força ou oposição direta por um obstáculo.

6.1 Princípio de funcionamento do ciclone tipo tangencial

O ciclone do tipo tangencial é composto por um corpo cônico cilíndrico, ao qual entram tangencialmente os gases a depurar, por uma abertura na parte superior do equipamento. As partículas submetidas à força centrífuga no final de um certo número de voltas, chocam-se com a parede metálica do ciclone e terminam depositando-se na parte inferior do cone, onde há uma abertura para decantação das partículas sólidas, sendo então captadas para correta destinação. Devido à possibilidade de interferência com a partícula que entra no cilindro com as partículas que estão em movimento ascendente, fabricantes adotam um defletor para evitar esta indesejável interferência.

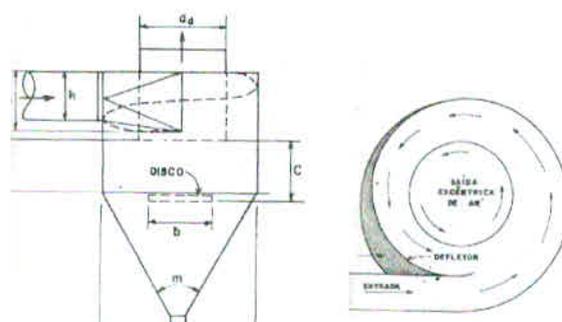


Figura 05– Princípio de Funcionamento do Ciclone Tangencial com topo Helicoidal Fonte: Macintyre (1990).

6.1 Eficiência dos Ciclones

Ciclones são de grande uso em controle de poluição do ar, porém, devido a sua eficiência baixa para partículas pequenas, o seu uso nesses casos apresenta restrições face à impossibilidade de atender normas de emissão mais exigentes. Em geral são utilizados para a coleta de material particulado com diâmetro maior que $5\mu\text{m}$.

Abaixo segue uma tabela para os vários tipos de coletores existentes em função do tamanho da partícula a ser capturada.

Tipo de equipamento ¹	Diâmetro (μm)				
	0 → 5	5 → 10	10 → 20	20 → 44	> 44
Câmara de sedimentação (com chicanas)	7,5	22,0	43,0	80,0	90,0
Ciclone de baixa pressão	12,0	33,0	57,0	82,0	91,0
Ciclone de alta pressão	40,0	79,0	92,0	95,0	97,0
Multiciclone	25,0	54,0	74,0	95,0	98,0
Filtro de tecido	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Lavadores de média energia	80,0	90,0	98,0	100,0	100,0
Lavador Venturi (lavador de alta energia)	95,0	99,5	100,0	100,0	100,0
Precipitador eletroestático	97,0	99,0	99,5	100,0	100,0
Torre de spray	90,0	96,0	98,0	100,0	100,0

Tabela 05– Eficiência de Coletores de Material Particulado x Tamanho das Partículas. Fonte: (CETESB, 1987).

6.2 Vantagens x desvantagens dos ciclones

De acordo com (Macintyre, 1990) este tipo de equipamento apresenta baixo custo de instalação, é simples de projetar, consome pouca potência, é de fácil construção e manutenção e pode ser usado para gases em temperaturas elevadas.

Em contrapartida, O emprego do ciclone é deficiente para partículas de diâmetro inferior a $15\mu\text{m}$, sendo muito pouco útil para partículas menores que $3\mu\text{m}$ (CETESB, 1990).

7 A EMPRESA ESTUDADA

Esse trabalho desenvolveu – se na empresa Lynhanil fornecedora de linhas de costura de nylon e poliéster para calçados, roupas e artigos de couro, situada na cidade de Paraguaçu – MG. O estudo foi realizado no ano de 2011, com base também em documentos técnicos e informações anteriores para efeitos comparativos.

8 ESTUDO DE CASO

A empresa Lynhanil, em razão de estar situada em uma posição muito próxima a áreas residenciais, foi alvo de reclamações locais, devido à alta concentração de fuligem expelida pela chaminé de sua caldeira a lenha. O fato indesejável estaria gerando problemas ambientais como, chuvas ácidas, corrosões, sujeira excessiva e problemas a saúde da população local. Estas reclamações fizeram com que a autoridade local responsável, fosse até o local para avaliar e fiscalizar a documentação técnica do equipamento.

O objetivo é comparar a situação inicial do problema, analisando os relatórios de medições realizadas por uma empresa terceirizada especializada, durante o período crítico e após as medidas corretivas tomadas pela empresa, para eliminar o problema e estar de acordo com as normas de emissão de poluentes, conforme referenciado anteriormente neste trabalho.

8.1 – Equipamento

O equipamento estudado é a uma caldeira de combustão a lenha, do tipo flamotubular, de fabricação ATA, modelo H3N, com capacidade de gerar 3.000 kg/hora de vapor a uma pressão normal de trabalho de 10,5 Kg/cm². Sua chaminé apresenta diâmetro de 0,59 metros.



Figura 06– Caldeira Flamotubular sem Ciclone. Fonte: Empresa Lynhanil (2005).

8.2 Aplicação do vapor

A empresa fabricante de linhas utiliza o vapor quente para melhor rendimento e absorção no processo de tinturaria do produto. O vapor quente em contato com as linhas faz com que o material fibroso estenda suas fibras melhorando a eficiência e o resultado final de aderência da tinta com a linha na fase seguinte ao processo produtivo.

9 MEDIÇÕES E ANÁLISES REALIZADAS

As medições foram realizadas pela empresa Ecoamb e o equipamento adotado para a medição foi o amostrador isocinético. Em um mesmo dia foram feitas três coletas em 12 pontos diferentes da chaminé da caldeira em um período de 65 minutos cada medição.

O objetivo principal é coletar o material emitido pela chaminé em filtros para serem analisados em laboratório. Desta maneira se torna possível identificar qual a proporção dos poluentes que estão sendo emitidos, para então se ter uma análise comparativa dos resultados obtidos com os parâmetros estabelecidos por norma.

9.1 Primeira medição sem o ciclone

A primeira medição foi realizada em 2005 pela empresa Ecoamb, onde foram coletadas três medições em um intervalo de 65 minutos, a fim de se obter uma média da concentração de emissão dos particulados.

3.1.1 - PRINCIPAIS RESULTADOS				
PARÂMETROS AVALIADOS		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Concentração de Material Particulado	(mg/Nm ³)	219,47	255,66	280,15
Taxa de Emissão	(kg/h)	0,51	0,59	0,65

3.1.2 - OUTROS DADOS				
PARÂMETROS AVALIADOS		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Data da Coleta		22/01/05	22/01/05	22/01/05
Hora início		12:35	14:10	15:45
Hora término		13:50	15:15	16:50

Quadro 06 – Primeira medição do chaminé
Fonte: (Empresa ECOAMB, 2005).

Conforme se pode observar, a média encontrada na fonte avaliada apresenta-se acima do limite estabelecido pela Deliberação Normativa 001/92 que é de 200 mg/Nm³ para chaminés de caldeiras que utilizam lenha como combustíveis.

4.0 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 - TABELA

FONTE AVALIADA	MÉDIA AVALIADA mg/Nm ³	LIMITE FEAM DN 001/92 mg/Nm ³
Chaminé da Caldeira	251,76	200

Quadro 07 – Primeira Média dos resultados obtidos. Fonte: (ECOAMB, 2005).

9.2 Segunda medição com o ciclone instalado

A segunda medição a seguir é do ano de 2010, após a instalação de um ciclone como tratativa adotada pela empresa para solucionar o problema com a alta emissão de material particulado na atmosfera.



Figura 07 – Caldeira flamotubular com ciclone instalado. Fonte: Lynhanil (2010).

A empresa Ecoamb novamente se encarregou de realizar as medições, onde desta vez foram feitas apenas duas coletas, numero este considerado mínimo permitido por norma técnica.

4.1.1 - PRINCIPAIS RESULTADOS				
PARÂMETROS AVALIADOS		1ª Coleta	2ª Coleta	Média
Concentração de Material Particulado	(mg/Nm ³)	193,84	214,15	204,00
Taxa de Emissão	(kg/h)	1,12	1,23	1,18

4.1.2 - OUTROS DADOS				
PARÂMETROS AVALIADOS		1ª Coleta	2ª Coleta	Média
Data da Coleta	-	08/12/09	08/12/09	-
Horário Inicial	-	11:20	12:37	-
Horário Final	-	12:22	13:39	-

Quadro 08 – Segunda medição do chaminé. Fonte: (ECOAMB, 2010).

Conforme se pode observar, a média encontrada na fonte avaliada apresenta-se bem mais próxima do limite estabelecido pela Deliberação Normativa 001/92 que é de 200 mg/Nm³ para chaminés de caldeiras que utilizam lenha como combustíveis.

Embora ainda 4 pontos acima do padrão de emissão, o relatório é considerado positivo devido à incerteza da medição no valor de aproximadamente 4,88 para mais ou para menos.

FONTE AVALIADA	PADRÃO DE EMISSÃO	PARÂMETRO ANALISADO
	Limite COPAM DN 001/92	Média
	MP (mg/Nm ³)	MP (mg/Nm ³)
CHAMINÉ DA CALDEIRA Á LENHA (ATA)	200	204,00 ± 4,88

Figura 09 – Segunda Média dos resultados obtidos. Fonte: (ECOAMB, 2010).

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluindo o presente trabalho, podemos afirmar que é possível se ter um ar mais limpo na exaustão dos gases de uma caldeira de combustível a lenha, com um investimento relativamente baixo em um equipamento de fácil construção, instalação e manutenção.

Com base nos relatórios pesquisados da caldeira a lenha estudada, antes e depois da instalação do ciclone, houve um decréscimo de 23,8% da quantidade de particulados lançados na atmosfera com o equipamento já em funcionamento, o que tornou a fonte emissora dentro do limite estabelecido pela Deliberação Normativa do COPAM 001/92, que é de 200 mg/Nm³ para fontes que utilizam lenha como combustível.

Apesar da deficiência dos ciclones para partículas menores que 5 μm , o resultados obtidos mostraram que é válido o uso dos ciclones para este fim, e que segredo para obter um ciclone de alta eficiência está na relação do corpo cilíndrico e diâmetro em função do tamanho da partícula que se deseja reter. A empresa que instalou o equipamento afirmou a Linhanyl que é possível, realizar novos ajustes para melhorar ainda mais a eficiência do ciclone, a empresa responsável pela instalação acredita que o exaustor da caldeira está com uma potência acima do necessário, o que dificulta a precipitação do material particulado na caixa de coleta no fundo do ciclone.

Enfim, as empresas precisam se adequar ao conceito da sustentabilidade, procurando reduzir cada vez mais a quantidade dos poluentes resultantes do seu processo de produtivo, através de soluções simples com aparelhagem auxiliar as fontes emissoras para redução de materiais particulados na atmosfera.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, NR-13: **Norma Regulamentadora de Caldeiras e Vasos de Pressão** – Portaria SSMT n.º57, de 19 de junho de 2008.

MACINTYRE, Archibald Joseph, **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. – 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

VIEIRA, Neise Ribeiro Vieira, **Poluição do Ar**. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

HINRICHS ; KLEINBACH, **Energia e Meio Ambiente**. 3. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

MELO, Henrique de Lisboa Melo, **Apostila Controle da Poluição Atmosférica**. – Santa Catarina: UFSC, 2008.

CARVALHOR JR. ; LACAVAL, **Emissões em Processos de Combustão**. São Paulo: UNESP, 2003.

ASSUNÇÃO, J. V. **Apostila do curso de seleção de equipamentos de controle da poluição do ar**. São Paulo: CETESB, 1998.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, **Apostila do curso de seleção de equipamentos de controle da poluição do ar**. São Paulo, 1987.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 382**, de dezembro de 2006. <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAyUkAB/resolucao-conama-382-2006>>. Acesso em: 10 de outubro de 2011.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL, **Deliberação Normativa Nº 11**, de 16 de dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAyUkAB/resolucao-conama-382-2006>>. Acesso em: 10 de outubro de 2011.

HOWSTUFFWORKS, **Como funcionam os motores a Vapor**. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/motor-a-vapor2.htm>> - Acesso em: 09 de novembro de 2011.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL, **Principais Poluentes Atmosféricos**. Brasília, 2010, Disponível em: <<http://www.sedhab.df.gov.br/sites/300/379/00002594.pdf>>. Acesso em 26 setembro de 2011.

QUIMITRON, **Sistema de Controle de Emissões.** Disponível em:
<<http://www.quimitron.com.br>>. Acesso em: 08 de novembro de 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, NBR-6016: **Avaliação de teor de fuligem com a escala de ringelmann.** 1986. Disponível em:
http://www.4shared.com/document/HtC0oyO1/NBR_6016_-_Gs_de_Escapamento_d.html
Acesso em: 01 de novembro de 2011