

## PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO PARA CALCINAÇÃO: A EXPERIÊNCIA OBTIDA PELA ENFIL<sup>1</sup>

Marcelo Ozawa<sup>2</sup>  
 Renato Barros Greco<sup>3</sup>  
 Amanda Beltramin de Carvalho<sup>4</sup>

### Resumo

A ENFIL S.A. Controle Ambiental projetou e instalou um precipitador eletrostático para o forno de cal siderúrgico para um Cliente em Minas Gerais, em 2005. Após *start-up* do equipamento e teste de desempenho em 2007, não foi obtido a emissão de particulado contratual. O artigo descreve o histórico de estudos e contra medidas adotadas ao longo de 5 anos, que envolve desde estudos de *CFD* (análise computacional de fluxo), inspeções internas, análise de resistividade de pó, medição da resistividade em atmosfera com enxofre e amônia, alteração das condições de processo e teste com controlador de média frequência para os transformadores retificadores. As contra medidas adotadas mostram como as emissões de particulado foram sendo reduzidas gradativamente até atingir valores aceitáveis pelo Cliente. Seguem as recomendações ENFIL para este tipo de processo.

**Palavras-chave:** Precipitador; Resistividade; Particulado; Emissão.

### ELECTROSTATIC PRECIPITATORS FOR LIME KILN APPLIED FOR STEEL PLANTS: EXPERIENCE OF ENFIL

#### Abstract

ENFIL S.A. Environmental Control designed and installed an electrostatic precipitator for the lime Kiln oven to a Customer in Brazil, in 2005. After start-up of equipment and performance test in 2007 was not obtained the contractual particulate emission. The article describes the studies history and actions adopted during 5 years, which involves since *CFD* (computational flow analysis) studies, internal inspections, dust resistivity analysis, resistivity measurement in atmosphere with sulfur and ammonia, change the process conditions and test with controller of medium frequency for transformer rectifiers. The providences adopted show how the particulate emissions were being reduced gradually until reach acceptable values by the Customer. Follow Enfil recommendation for this type of process.

**Key words:** Electrostatic precipitator; Ohmic resistivity; Particulate; Emission.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Escola Politécnica da USP, 1988. Engenheiro Mecânico e M.Eng., Gerente de Tecnologia, Enfil S.A. Controle Ambiental, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Escola Politécnica da USP, 1992. Engenheiro Químico, Gerente de Negócios Internacionais, Enfil S.A. Controle Ambiental, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>4</sup> Escola de Engenharia Mauá - Estagiária de Engenharia Química, Enfil S.A. Controle Ambiental, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2005, a Enfil Controle Ambiental S.A. participou e sagrou-se vencedora de uma concorrência para fornecimento e instalação de um Precipitador Eletrostático (PE) para tratamento de gases provenientes de um forno de cal para aplicação siderúrgica.

O Cliente, uma grande siderúrgica situada em Minas Gerais, já havia instalado anteriormente, um filtro de mangas, porém com sérios problemas de perda de carga e manutenção das mangas, optou por substituir por um PE.

O objetivo da instalação era reduzir as emissões de material particulado para 50 mg/Nm<sup>3</sup> na chaminé.

Em 2007 ocorreu o *start-up* da instalação do PE, porém desde seu início apresentou alguns problemas em seu desempenho, deixando de atingir a eficiência esperada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os precipitadores eletrostáticos (PE) tem como princípio a conhecida teoria de que os opostos se atraem, isto é, as partículas de pó são carregadas negativamente devido à presença de íons gerados nas regiões de descargas elétricas (Figura 1), enquanto as placas coletoras possuem cargas positivas. Assim o material particulado é atraído para as placas, formando-se camadas de pó nas mesmas. Quanto maior a espessura da camada depositada, menor a eficiência do precipitador, o que explica a necessidade do sistema de limpeza através do batimento das placas (Figura 2).

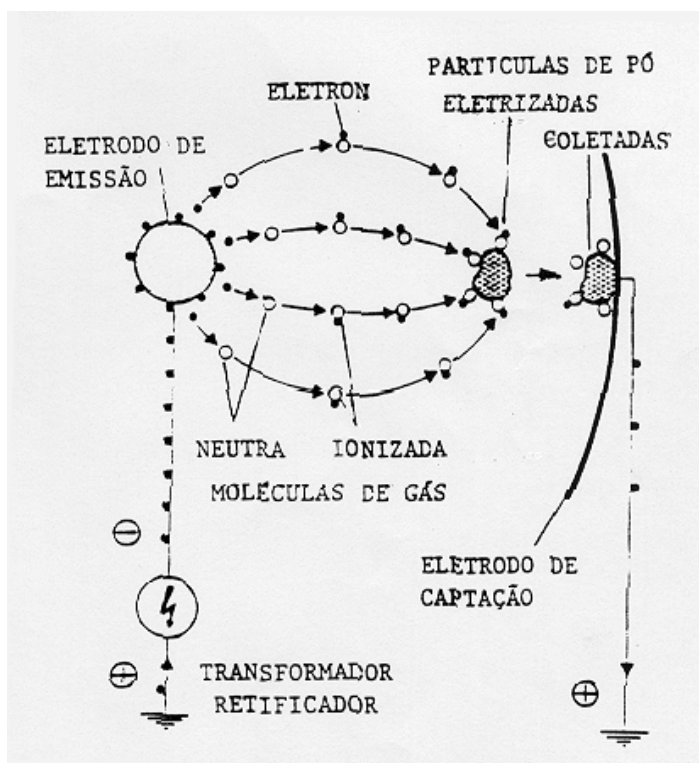


Figura 1. Sistema de ionização dos gases e partículas.<sup>(1)</sup>

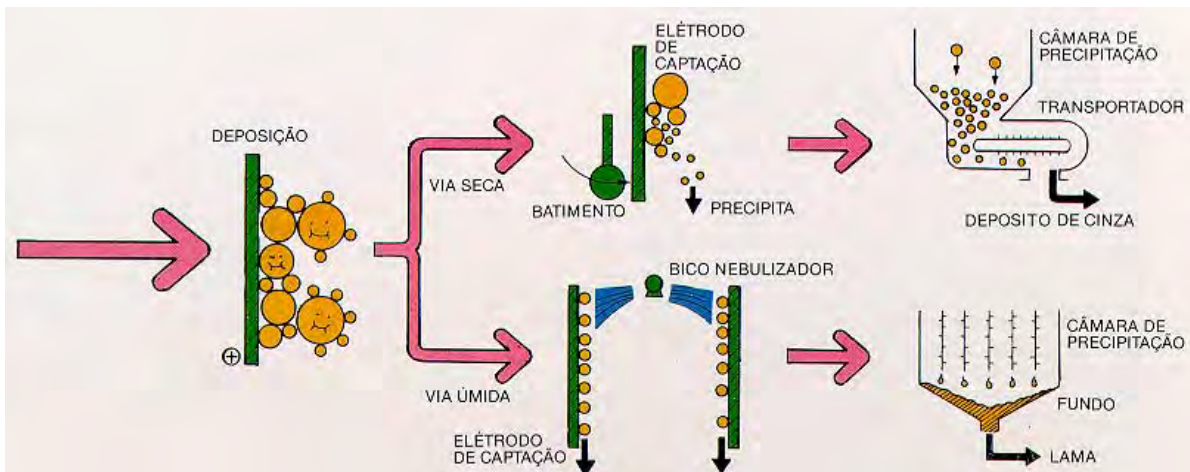


Figura 2. Sistema de limpeza das placas coletoras.<sup>(1)</sup>

O processo consistia do tratamento de gases provenientes de um forno rotativo para aplicação siderúrgica.

O PE foi instalado (Figura 3), após o forno rotativo e o ventilador de tiragem induzida.

O fluxo de material, calcário, provém do pátio de armazenagem, sendo transportado até o topo do pré-aquecedor poligonal, e então alimenta o forno rotativo horizontal. Neste ocorre a calcinação do calcário e a cal é coletada. Os gases do forno, junto com partículas de cal seguem para o multiciclone (pré-coletor de pó), precipitador (equipamento principal), ventilador e chaminé.



Figura 3. Foto da instalação do PE durante a fase de montagem.

O precipitador eletrostático foi dimensionado para atender aos seguintes parâmetros de processo:

- Vazão de gases: 150.000 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura dos gases: 230°C
- Umidade dos gases: 6% – 14% (volume)
- Carga de pó na entrada do precipitador: 5.500 mg/Nm<sup>3</sup> seco
- Carga de pó após o precipitador: 50 mg/Nm<sup>3</sup> seco
- Eficiência de coleta: 99,09%

Após operação inicial e estabilização operacional, procederam-se os testes de desempenho (medição de material particulado na entrada e saída, conforme metodologia EPA 5).

Como os resultados iniciais se mostraram insatisfatórios, a Enfil analisou e elegeu os seguintes tópicos a serem estudados:

- 1º revisão das condições de processo e do dimensionamento do PE;
- 2º inspeção interna no PE, para certificação das condições de montagem;
- 3º estudo da distribuição de gases (CFD) internamente, para uniformização das velocidades na secção transversal;
- 4º medição da resistividade ôhmica do material particulado;
- 5º estudo de condicionamento de gases; e
- 6º nova inspeção interna no PE, para certificação das condições operacionais.
- 7º instalação de controlador de média frequência para os transformadores retificadores.

Dentre as avaliações acima, destacamos o 3º, 4º/5º e 7º como fundamentais para entendimento dos fatos e redução da emissão de particulado.

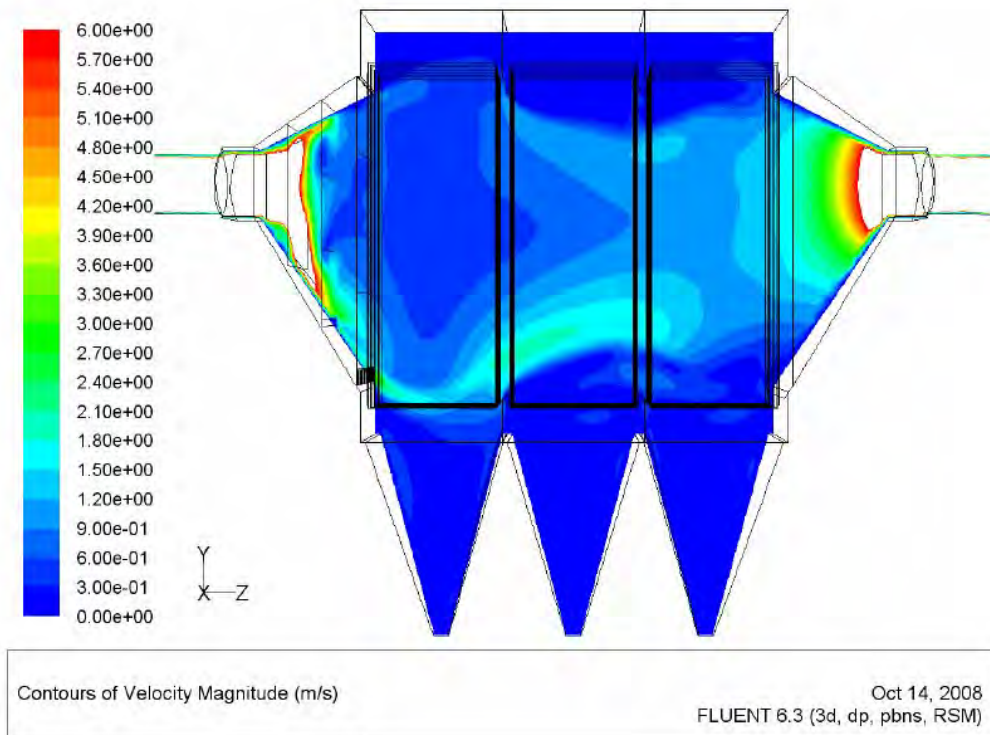
## **2.1 Estudo de Fluidodinâmica Computacional - CFD (*Computational Fluid Dynamics*)**

Com intuito de avaliar a distribuição dos gases no interior do precipitador foram realizados estudos fluidodinâmicos computacionais, *CFD*, identificando-se assim a necessidade de ajustes nas placas perfuradas de distribuição. Em agosto de 2008, foram instaladas chapas sobre as placas fazendo com que se adequassem a área livre de passagem do gás, permitindo uma melhor distribuição do fluxo de gases internamente do PE. Simultaneamente, uma inspeção interna generalizada foi realizada, verificando a situação das placas coletoras e também dos eletrodos, porém nada que justificasse a alta concentração de poluentes na emissão foi encontrado.

Em setembro de 2008 houve a realização de novos testes, tanto na entrada, quanto na saída do PE, apesar de uma significativa redução na carga de pó de saída, o objetivo ainda estava longe de ser atingido.

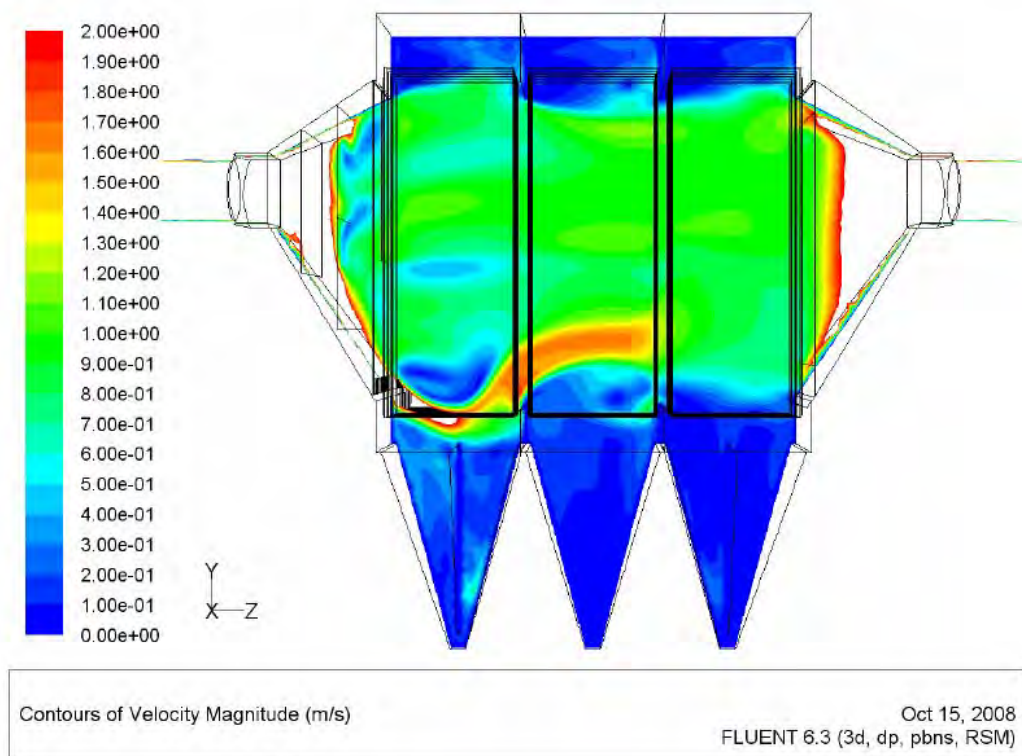
A Figura 4 mostra a distribuição interna das velocidades na condição de análise inicial: velocidades maiores na parte inferior e menores na parte central, onde a captação é normalmente mais intensa. Portanto, em um perfil indesejável.





**Figura 4.** Estudo de CFD inicial - Distribuição interna de velocidade dos gases.

Após as modificações nas placas distribuidoras de fluxo na entrada, mais a inserção de chapas na região das tremonhas, obteve-se o perfil de velocidades, mais uniforme e desejável (Figura 5).



**Figura 5.** Estudo do CFD após as modificações - distribuição interna de velocidade dos gases.

## 2.2 Medição da Resistividade Ôhmica ( $\rho$ ) do Material Particulado e Condicionamento de Gases

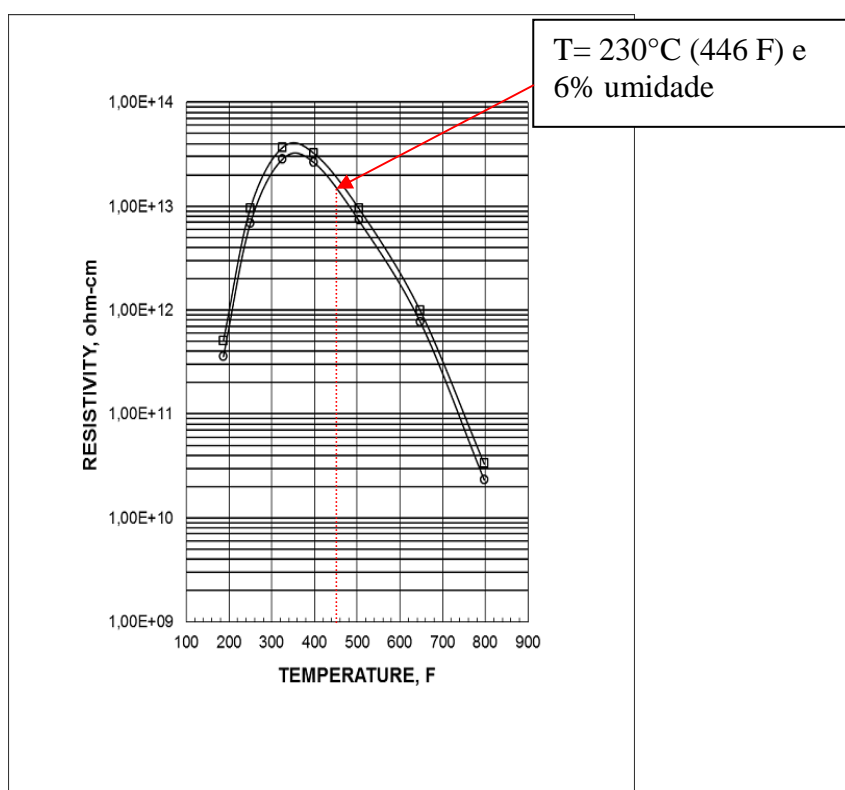
A variável resistividade ôhmica define a intensidade com que o particulado será carregado eletricamente. Quanto mais resistivo o material, mais difícil de ser captado e vice versa. A Tabela 1 mostra as faixas da resistividade ôhmica de particulado.

**Tabela 1.** Intensidade de Resistividade (ohm.cm)<sup>(2)</sup>

Menor que $10^{10}$	Baixa
Entre $10^{10}$ - $10^{12}$	Normal
Maior que $10^{12}$	Alta

Os testes foram executados pela empresa americana SRI- Southern Research, contratada pela Enfil para essa finalidade:

Na condição operacional atual (temperatura e % de umidade) (Figura 6).



**Figura 6.** Resistividade (em Ohm-cm) na condição de operação.

Em 25% de umidade maior que a umidade em operação (6%) (Figura 7).

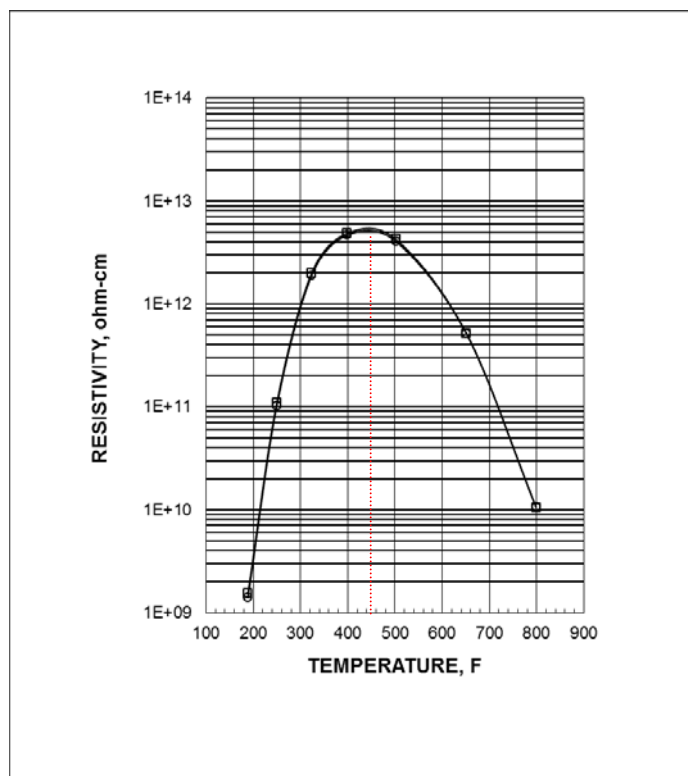


Figura 7. Resistividade (em Ohm-cm) com teste de umidade acima da de operação.

Com condicionamento de gás de 20 a 60 ppm de NH<sub>3</sub> (Amônia) (Figura 8).

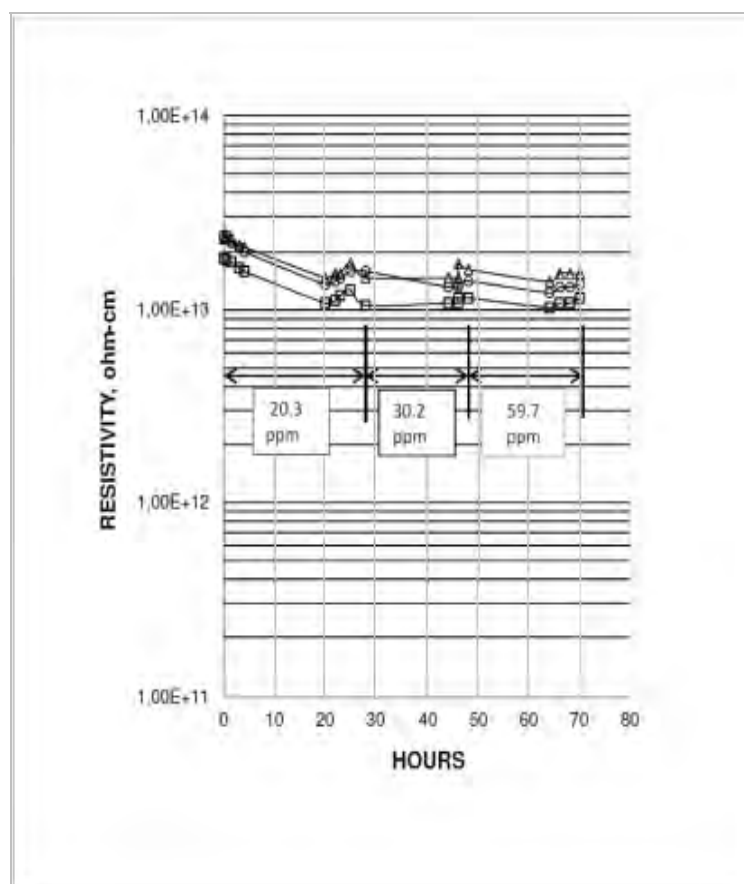


Figura 8. Resistividade (Ohm-cm) com condicionamento, injeção de Amônia.

A medição de resistividade para os 3 casos analisados, mostrou valores de resistividade de  $1 \times 10^{12} < \rho < 1 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ . Essa faixa de valores é considerada acima da faixa normal de coleta de material particulado e, portanto, de difícil captação. Mesmo com condicionamento de gases, como o aumento da umidade ou injeção de  $\text{NH}_3$  (amônia), a resistividade não reduziu seu valor significativamente, contrariando a expectativa da análise.

### 2.3 Instalação de Controlador de Média Frequência para os Transformadores Retificadores

A ENFIL havia instalado 3 transformadores retificadores com controladores de tensão e corrente, normais de mercado. Na ocasião, o equipamento foi adquirido da REDKOH Industries Inc. ([www.redkoh.com](http://www.redkoh.com)) dos EUA.

Como a referida empresa desenvolveu controladores de média frequência (tipicamente frequência de 400 Hz ao invés do valor padrão de 60 Hz), que permite atingir maiores valores de tensão (KV) e corrente (mA), um equipamento foi trazido para teste, durante 7 dias, em outubro de 2012.

Com o equipamento, pode-se aumentar a tensão e corrente conforme mostra a Tabela 2.

**Tabela 2.** Leitura de tensão e corrente para os 3 campos elétricos

	ANTES DOS TESTES	DEPOIS DOS TESTES
Campo 1	40 KV, 102 mA	43 KV, 757 mA
Campo 2	41 KV, 105 mA	45 KV, 717 mA
Campo 3	44 KV, 100 mA	39 KV, 645 mA

A Figura 9 mostra a leitura de tensão e corrente durante os testes com novo controlador.



**Figura 9.** Leitura de KV x mA para os 3 campos elétricos com o "mid frequency device".

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após várias intervenções, modificações e estudos, a evolução da emissão de material particulado na chaminé é mostrada na Figura 10.



### Emissão de Particulado Forno de Cal

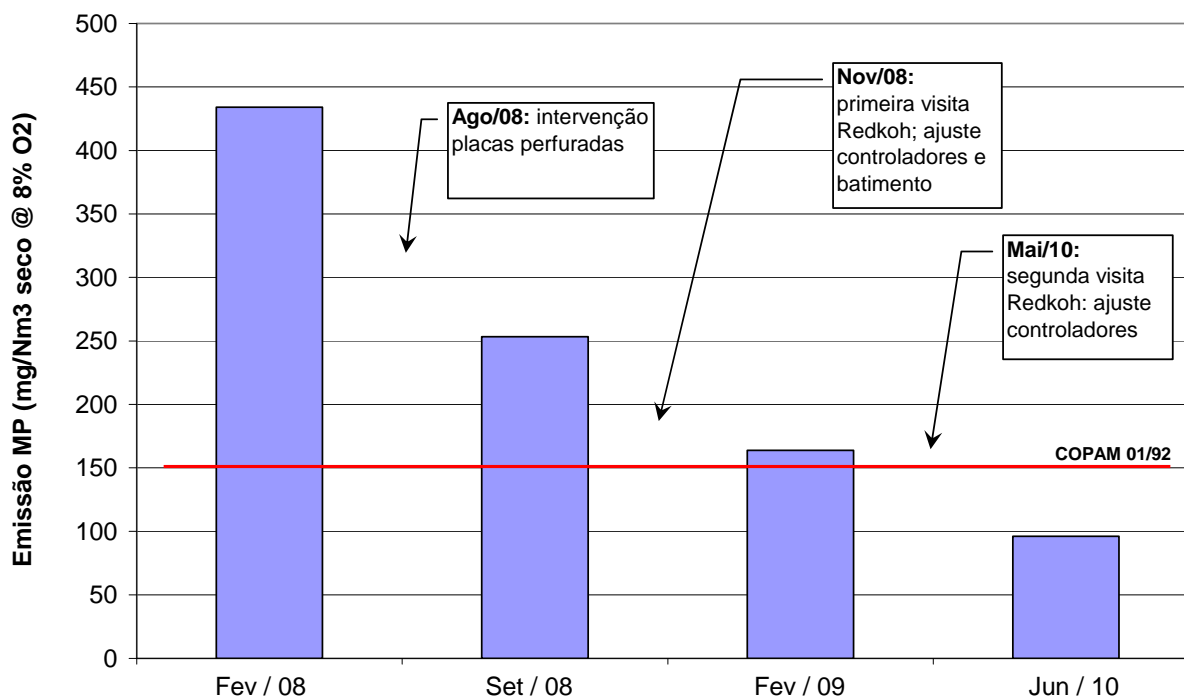


Figura 10. Emissões de particulado obtidas através de testes de desempenho EPA 5.

Após a instalação do controlador de média frequência (outubro de 2012) bem como a execução de pequena reforma no precipitador eletrostático, o opacímetro instalado na chaminé indicou por várias semanas, valores de emissão entre 40 e 60 mg/Nm<sup>3</sup>. Ou seja, as contra medidas adotadas mostraram finalmente que o equipamento foi dimensionado suficientemente para coleta do pó, porém devido a sua alta resistividade, considerações e cuidados deveriam ser tomados para que não ocorressem desvios técnicos.

## 4 CONCLUSÃO

A Enfil S.A., utilizando tecnologias internacionais e sempre em busca da melhor parceria tecnológica, já realizou a venda de mais de 30 precipitadores eletrostáticos, os quais obtiveram sucesso de desempenho de imediato ou em curto prazo. Este PE foi o único (e esperamos o último) que não apresentou resultados satisfatórios de imediato.

O pó a ser coletado neste tipo de processo (forno de cal para Siderurgia) apresenta a resistividade muito alta ( $\rho > 1.0 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ ), em níveis de difícil captação por forças elétricas aliado ao baixo teor de umidade dos gases. Mesmo cuidando no dimensionamento do PE, com baixa velocidade interna ( $< 1 \text{ m/s}$ ), velocidade de migração conservativa e, portanto, maior tempo de retenção, muitos outros cuidados de projeto devem ser tomados, como mostrado no artigo.

O fator decisivo que reduziu drasticamente a emissão de particulado foi o teste com controladores de média frequência. Apesar de as publicações internacionais relatarem que novos controladores (de alta frequência) são efetivos em processos com pós de baixa resistividade ( $\rho < 1.0 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ) como por exemplo, em caldeira de biomassa, pode-se comprovar que em processos mais críticos como este, a emissão de particulados foi consideravelmente reduzida.

Esta experiência da ENFIL, demonstrou que é possível trabalhar em vários fatores para melhorar o desempenho do equipamento, mesmo em condições desvantajosas como por exemplo, o tempo de operação (mais de 5 anos de uso).

Ao final, nas palavras do cliente em 1º de novembro de 2012: *“Com relação ao trabalho executado- entendemos que o trabalho foi de grande importância para a melhoria do Equipamento. Foi realizado um trabalho muito bom, gostaríamos de parabenizar a Equipe da ENFIL pela organização e conhecimento do processo.”*

### **Agradecimentos**

Agradecemos as seguintes pessoas e / ou instituição:

À Enfil S.A. na pessoa do Eng<sup>o</sup>. Franco Castellani Tarabini Júnior – Diretor, por acreditar nos aspectos técnicos apresentados pelo grupo de estudo.

À Diretoria da Enfil por suportar economicamente as várias modificações e testes a que foi submetida à instalação.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 MITSUBISHI, H. I. Environmental Air Pollution Control Catalogue, Japan: Kobe, 1988.
- 2 OZAWA, M. Determinação experimental da resistividade ôhmica de cinzas volantes para projeto de precipitadores eletrostáticos. Dissertação de Mestrado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, p.140, 2003.