

# Subgrupo de Trabalho do CONAMA

## – SIDERURGIA –

PROPOSTA DE PADRÕES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PARA  
FONTES FIXAS EXISTENTES DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA EM NÍVEL NACIONAL

Coordenação:

*feam*

**FUNDAÇÃO ESTADUAL  
DO MEIO AMBIENTE**

julho de 2010

### **Autores do trabalho por instituição ou empresa:**

- ARCELOR MITTAL
- ATMA
- CSN
- VALE
- FEAM
- GUERDAU AÇOMINAS
- ENFIL
- IABr (Ex-IBS)
- IEMA (ES)
- INEA
- SES
- SINOBRÁS
- USIMINAS
- V & M
- VOTORANTIM

### **Coordenação do Grupo:**

Antônio Alves dos Reis – FEAM/GESAR  
Edwan Fernandes Fioravante – FEAM/GESAR  
Elisete Gomides Dutra – FEAM/GESAR

### **Participação:**

Adilson Luiz Diesel – ARCELOR MITTAL -Tubarão – E  
Alison Frederico M. Ferreira – GERDAU AÇOMINAS  
André Luiz F. França – INEA (RJ)  
Andrés Gonzalo Reyes Unda – VMB  
Cláudia Tavares Alves – INEA (RJ)  
Cleber Marques Silva Filho – ARCELOR MITTAL - Monlevade  
Filipe Leão Morgan – GUERDAU AÇOMINAS  
Francisco A. Froes de Carvalho – GERDAU AÇOMINAS  
Genésio Alves Vieira – (FEAM/GESAR)  
Glautiere Paiva Gomes – ARCELORMITTAL INOX - BRASIL  
Isis Laponez da Silveira – ATMA  
Ivan Jankov – ENFIL  
João Luiz Rodrigues do Nascimento – CSN  
Junimara Chaves – SINOBRÁS  
Leonardo Roger Silva Veloso – USIMINAS  
Leonardo São Paulo Sambaquy – GERDAU AÇOMINAS  
Luciana Corrêa Magalhães – ARCELORMITTAL - Tubarão  
Lucila Caselato – IABr (Ex-IBS)  
Luiz Ribeiro Ignácio – VALE (ES)  
Marcela Lencine Ferraz – SES  
Marco Túlio Xavier Lanza – VOTORANTIM  
Marcos Abreu Lima – VALE  
Nilson Castiglioni Júnior – IEMA (ES)  
Odilon Machado Neto – ARCELORMITTAL INOX  
Renata de O. T. Rubinstein – SES  
Rosana Peique Aznar Benetti – USIMINAS - Cubatão

## APRESENTAÇÃO

Apresenta-se uma justificativa técnica para as propostas para padrões de emissão de poluentes atmosféricos para fontes existentes\* das unidades do setor produtivo de siderurgia do território nacional, tendo em vista subsidiar o estabelecimento de padrões de emissão para as fontes dessa tipologia no âmbito da Câmara Técnica do CONAMA.

Para os objetivos deste trabalho foram consideradas as mesmas fontes e poluentes medidos em chaminés e que constam da resolução CONAMA Nº 382/2006, que estabelece limites de emissão para fontes novas, publicada em 2 de janeiro de 2007[1].

*\* Consideram-se fontes existentes todas aquelas instaladas ou com licença de instalação requerida anteriormente à publicação da resolução CONAMA 382/2006.*

## **SIGLAS**

ATMA – Assessoria Técnica em Meio Ambiente

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPAM – Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

VALE – Companhia Vale do Rio Doce

FEAM (MG) – Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais

GESAR – Gerência de Gestão da Qualidade do Ar

IABr (Ex-IBS) – Instituto Aço Brasil (Ex-Instituto Brasileiro de Siderurgia)

IEMA (ES) – Instituto Estadual de Meio Ambiente do Espírito Santo

INEA (RJ) – Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro

SES (MG) – Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais

UNEP – United Nations Environment Programme

USEPA – United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – PERFIL DA SIDERURGIA BRASILEIRA.....	2
1.2 – PROCESSO SIDERÚRGICO.....	3
1.3 – CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO PONTUAL .....	4
1.4 – SISTEMA DE CONTROLE .....	9
2. METODOLOGIA ADOTADA.....	11
3. ANÁLISE DE DADOS E JUSTIFICATIVAS .....	14
3.1 – ALTO-FORNO A COQUE – SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO DA CASA DE ESTOCAGEM - MP.....	15
3.2 – SINTERIZAÇÃO – SISTEMA PRIMÁRIO DE DESPOEIRAMENTO – MP .....	18
3.2.1 – ANÁLISE DE TODAS AS EMPRESAS.....	18
3.3 – SINTERIZAÇÃO – SISTEMA SECUNDÁRIO DE DESPOEIRAMENTO – MP .....	21
3.3.1 – ANÁLISE DE TODAS AS EMPRESAS.....	22
3.3.2 – ANÁLISE DE TODAS AS EMPRESAS, FREQUÊNCIA CONC. $\leq 100 \text{ MG/NM}^3$ .....	22
3.3.3 – ANÁLISE DE TODAS AS EMPRESAS, FREQ. CONC. $\leq 100 \text{ MG/NM}^3$ , SEM A EMPRESA “E” .....	23
3.4 – COQUERIA – SISTEMA DE COMBUSTÃO DOS FORNOS DE COQUE – MP .....	25
3.5 – LAMINAÇÃO – FORNOS DE REAQUECIMENTO DE PLACAS COM QUEIMA DE GASES SIDERÚRGICOS – MP.....	28
3.6 – LAMINAÇÃO – FORNOS DE REAQUECIMENTO DE PLACAS COM QUEIMA DE GASES SIDERÚRGICOS – $\text{SO}_2$ .....	30
3.7 – CENTRAL TERMELÉTRICA – CALDEIRA COM QUEIMA DE GASES SIDERÚRGICOS – MP .....	35
3.7.1 – COM <i>OUTLIERS</i> MAIORES QUE 200 DE TODAS AS EMPRESAS .....	36
3.7.2 – MP CENTRAIS TERMELÉTRICAS $\leq 200$ DAS EMPRESAS, EXCETO A “E” .....	36
3.8 – PADRÕES PROPOSTOS X PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA 382/2006.....	38
4 – CONCLUSÃO .....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2008, diante da necessidade de se estabelecer padrões de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas existentes do setor siderúrgico, ficou acordado no âmbito da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental do CONAMA, que a FEAM coordenaria o subgrupo dessa tipologia, tomando como base a experiência adquirida em 2004, quando efetuou a coordenação do subgrupo de siderurgia voltado para fontes novas. Nesta nova fase, foram necessárias seis reuniões, sendo cinco em Belo Horizonte e uma em São Paulo. Na primeira reunião ocorrida no dia 16 de dezembro de 2008, a FEAM apresentou proposta de trabalho ao setor produtivo. Após os ajustes face a interveniência do setor, ficou acertado que o IABr encaminharia à FEAM o resultado já consolidado proveniente do levantamento dos dados brutos do monitoramento das concentrações dos poluentes emitidos em chaminé realizado pelas empresas instaladas nos respectivos Estados.

Foram mantidas as mesmas fontes de emissão e os poluentes atmosféricos que constam da Resolução CONAMA 382/2006, tomada como referência. Ficou também acordado que o setor apresentaria uma proposta de padrões de emissão para discussão no âmbito do subgrupo.

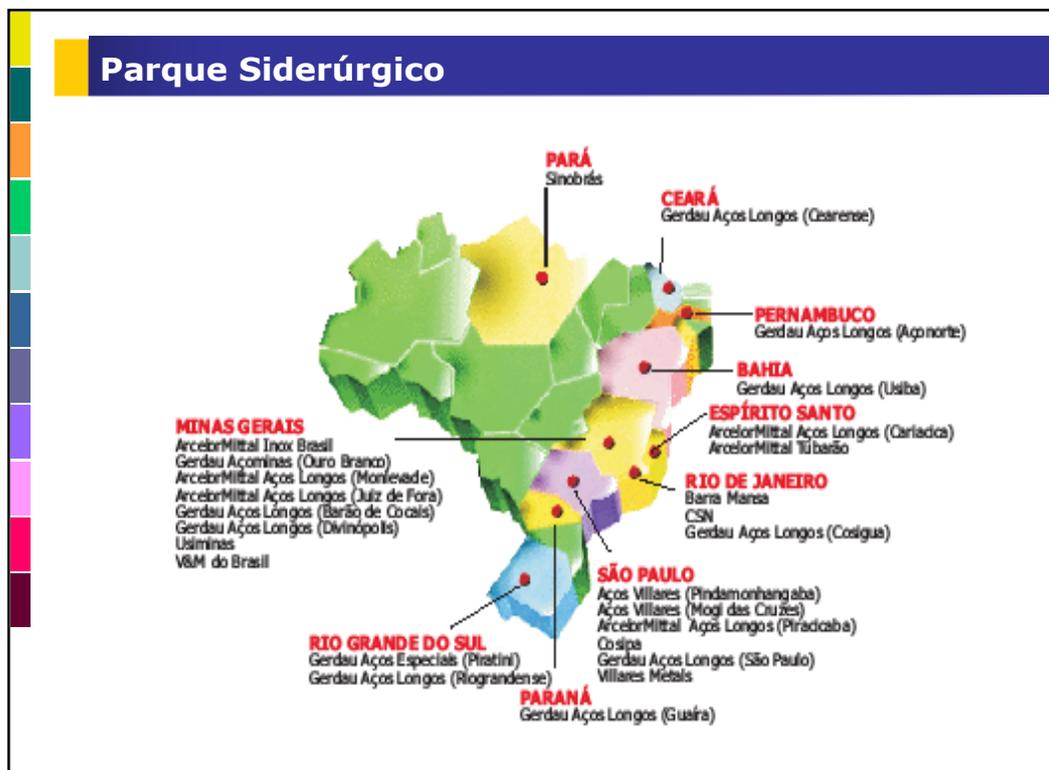
Após recebimento da proposta e dos dados brutos do setor encaminhados pelo IABr, a FEAM realizou a análise estatística e concomitantemente, avaliou os sistemas de controle existentes e passíveis de garantir a saída das concentrações dos poluentes emitidos, de acordo com os padrões de referência da Resolução CONAMA 382/2006, objetivando ganho ambiental. O trabalho realizado resultou em uma contraproposta com limites de emissão mais restritivos, quando comparado àquela apresentada pelo setor.

Na última reunião, realizada em 14 de junho de 2010, foi apresentada nova proposta pelo setor antecedida de justificativas, principalmente, relativas às unidades produtivas da coqueria, sinterização, fornos de coque e laminação. Ao término das discussões, chegou-se ao consenso, refletido na proposta apresentada no Quadro 4 das Conclusões. Os padrões propostos mantiveram os mesmos valores da Resolução CONAMA 382/2006, exceto para 25 % considerando cada poluente por fonte de emissão.

---

## 1.1 – PERFIL DA SIDERURGIA BRASILEIRA

Segundo o IABr, o Parque produtor de aço no Brasil consiste em 27 usinas, sendo que 13 integradas (a partir do minério de ferro) e 14 semi-integradas (a partir do processo de ferro-gusa com a sucata) administradas por oito grupos empresariais e distribuídas por 10 estados brasileiros (Figura 1).



Fonte: IABr Figura 1- Parque Siderúrgico Nacional

Em 2007, a indústria do aço no Brasil alcançou no *ranking* mundial o 13º lugar em exportação direta, sendo considerado o 5º maior exportador líquido de aço, com cerca de 8,8 milhões de toneladas. A capacidade instalada ao final de 2008 era de 41 milhões de toneladas por ano de aço bruto. Em 2009, o setor foi responsável pela produção de 26,5 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a 9ª posição no *ranking* da produção mundial.

A privatização das empresas, finalizada em 1993, trouxe ao setor expressivo afluxo de capitais, em composições acionárias da maior diversidade. Assim, muitas empresas produtoras passaram a integrar grupos industriais e/ou financeiros cujos interesses na siderurgia se desdobraram para atividades correlatas, ou de apoio logístico, com o objetivo de alcançar economia de escala e competitividade. Deste modo, o parque produtor está apto a entregar ao mercado qualquer tipo de produto siderúrgico, desde que sua produção se justifique economicamente [2].

## **1.2 – PROCESSO SIDERÚRGICO**

Em termos gerais, as principais operações do processo siderúrgico de uma usina integrada são as seguintes: produção de coque, sinter, ferro e aço; preparação do ferro, de produtos semi-acabados e acabados; suprimento de energia e calor; e manuseio e transporte de matérias-primas, produtos intermediários e resíduos.

Compreende quatro grandes etapas:

### **1.ª – Preparação do minério e do carvão**

A parte do minério de ferro que se encontra na forma de finos, com granulometria imprópria para utilização direta no alto-forno, é submetida a processos de aglomeração (sinterização ou pelotização) para a formação do sinter e das pelotas que, juntamente com o minério granulado, são carregados no alto-forno. O carvão mineral, que contém um conjunto de elementos indesejáveis à produção do aço, é aquecido em fornos especiais (coquerias), onde os compostos voláteis são removidos e o resíduo da queima (coque) é utilizado como combustível e redutor no alto-forno.

### **2.ª – Redução do minério de ferro**

Consiste na remoção do oxigênio contido nos óxidos do minério por ação dos redutores – coque ou carvão vegetal. Esta operação é realizada nos altos-fornos a coque ou a carvão vegetal ou em fornos elétricos de redução. O produto obtido nesta etapa é uma liga ferro carbono, com teor de carbono variando entre 1,7 a 6,67%, denominada ferro-gusa, que ainda contém impurezas como fósforo, enxofre e sílica.

### **3.ª – Refino**

É realizado para diminuir o teor de carbono e das impurezas, presentes no ferro-gusa, até valores específicos para os diferentes tipos de aço. Esta transformação do ferro-gusa em aço (Refino) é realizada nas aciarias, sendo as mais utilizadas aquelas que empregam o arco elétrico (Fornos Elétricos a Arco) e o sopro de oxigênio (*BOF – Basic Oxygen Furnance*).

### **4.ª – Conformação Mecânica**

O aço produzido nas aciarias é vazado em lingoteiras, solidificando-se na forma de lingotes ou em máquinas de lingotamento contínuo, onde é cortado já na forma de produtos semi-

---

acabados (placas ou tarugos). Os produtos resultantes do lingotamento convencional ou contínuo são transformados mecanicamente, por meio da laminação, forjamento e outros processos mecânicos, em grande variedade de produtos tais como: bobinas, barras, chapas, vergalhões, fio-máquina, perfis e outros.

### 1.3 – CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO PONTUAL

**Usinas Siderúrgicas Integradas** operam as três fases básicas: redução, refino e laminação; participam de todo o processo produtivo e produzem aço.

**Usinas Siderúrgicas Semi-integradas** operam duas fases: refino e laminação. Estas usinas partem de ferro-gusa, ferro esponja ou sucata metálica adquiridas de terceiros para transformá-los em aço em aciarias elétricas e sua posterior laminação.

**Usinas Siderúrgicas Não-integradas** são unidades produtoras que operam apenas uma fase do processo: redução ou laminação. No primeiro caso estão os produtores de ferro-gusa, os chamados guseiros, que têm como característica comum o emprego de carvão vegetal em altos fornos para redução do minério. No segundo, estão os relaminadores, geralmente de placas e tarugos, adquiridos de usinas integradas ou semi-integradas e os que relaminam material sucitado.

**Coqueria** é a unidade onde se obtém o coque metalúrgico, redutor e combustível necessário às operações de alto-forno. Após a coqueificação – processo de destilação destrutiva do carvão mineral, em ausência de oxigênio - o coque incandescente é apagado por jatos de água sob pressão, sendo resfriado, britado e peneirado. A parcela fina do coque é consumida na sinterização e a parte grossa é enviada para o alto-forno. Os gases liberados durante a coqueificação são recuperados e tratados, obtendo-se o gás de coqueria (GCO) e produtos carboquímicos que são processados na unidade de recuperação de subprodutos.

As emissões da coqueria são constituídas de fumos de coloração forte, partículas de carbono e gases contendo monóxido de carbono, amônia, dióxido de carbono; hidrocarbonetos (metano e etileno), sulfeto de hidrogênio e fenóis. Os produtos líquidos incluem água, alcatrão e óleos leves (benzeno, tolueno e xileno).

---

Na coqueria propriamente dita, as emissões são provenientes do enforamento, desenforamento, apagamento do coque, vazamentos e queima do gás de coqueria para aquecimento dos fornos.

**Sinterização** consiste na aglomeração a quente de finos de minério de ferro com o objetivo de formar uma massa sólida (sínter) com características de porosidade, resistência mecânica e granulometria adequadas a sua utilização nos altos-fornos.

Na sinterização os principais efluentes atmosféricos gerados são o material particulado e produtos da combustão tais como: monóxido e dióxido de carbono; óxidos de enxofre e nitrogênio, cujas concentrações dependem das condições da queima e das características das matérias primas utilizadas, operações de manuseio, preparação e transferência.

Os principais efluentes atmosféricos gerados na máquina de sinterização são o material particulado e produtos da combustão tais como: monóxido e dióxido de carbono; óxidos de enxofre e nitrogênio, cujas concentrações dependem das condições da queima e das características das matérias primas utilizadas.

**Alto-forno** é a unidade produtiva siderúrgica onde é fundido o minério de ferro, a fim de transformá-lo em ferro-gusa. O alto-forno é um reator metalúrgico de contra corrente, no qual são processadas várias reações entre os elementos de carga – minério de ferro granulado ou em forma de sínter e pelotas; fundentes e redutores – das quais resultam basicamente: a remoção do oxigênio dos óxidos de ferro e fusão do ferro impuro obtido (ferro-gusa); a formação de escória e a geração de um considerável volume de gases (GAF), originados a partir da injeção de ar quente pelas ventaneiras do forno e subseqüentes reações de redução dos óxidos de ferro.

O poluente mais importante associado às operações dos altos-fornos é o material particulado emitido tanto a partir dos processos de manuseio e transferência das matérias primas quanto no vazamento do gusa líquido. Os altos-fornos podem ser a coque ou a carvão vegetal

**Aciaria LD** é o processo empregado para produzir aço a partir de uma carga composta de aproximadamente 70% de gusa líquido e 30% de sucata, utilizando oxigênio comercial com mais de 99% de pureza para oxidar os elementos indesejáveis, principalmente o carbono e o silício. Não existe fonte externa de calor, que é suprido pelas próprias reações de oxidação realizadas no interior do conversor.

---

O principal poluente atmosférico gerado na aciaria LD é o material particulado, predominantemente na forma de óxido de ferro, emitido durante o despoejamento primário, secundário e dessulfurização do gusa.

**Aciaria Elétrica** é o processo de transformar ferro-gusa em aço através de fornos de arco, ou seja, com faísca elétrica, mediante uso de eletrodos.

As fontes potenciais de emissão de efluentes atmosféricos na aciaria elétrica são o carregamento, a fabricação e o vazamento do aço. Durante o carregamento da sucata fria, grandes quantidades de fumos são liberadas da sucata devido às altas temperaturas do forno: entretanto, a maior parte das emissões ocorre durante a fabricação do aço.

Os fatores que mais contribuem para intensificar as emissões são a qualidade da sucata, a natureza do material carregado e o fato do processo utilizar ou não a injeção de oxigênio. O principal poluente controlado é o material particulado.

**Laminação** é um processo de conformação mecânica, de redução da espessura de uma chapa, barra ou perfil metálico, por compressão, mediante sua passagem entre 2 cilindros girantes, com separação menor que a espessura de entrada. A barra é "puxada" pelos cilindros devido às forças de atrito entre as superfícies. O montante da redução é limitada pelas potências dos motores, e resistência mecânica dos cilindros, mancais, eixos e redutores.

O aquecimento dos produtos a serem laminados tem como objetivo reduzir os esforços de compressão dos laminadores. Assim sendo, a principal função dos fornos de reaquecimento é a de fornecer calor para elevar a temperatura dos produtos semi acabados – tarugos ou placas – a fim de conferir-lhes suficiente plasticidade para facilitar a laminação, permitindo a redução econômica da peça até a seção desejada.

As emissões atmosféricas do forno de reaquecimento dependem do tipo de combustível empregado para a geração de calor. Entretanto, o predomínio da utilização tem sido os gases siderúrgicos, complementado ou não pelo aporte de gás natural. Os principais poluentes emitidos são: Material Particulado (MP), Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

**Pelotização** é um processo de aglomeração de partículas ultrafinas de minério de ferro, com granulometria de 80% abaixo de 325 mesh, mediante tratamento térmico, para a formação

---

das pelotas cruas, cuja adesão entre partículas é promovida pela ação de ligantes tais como amido, bentonita e outros. Esta fração ultrafina (abaixo de 0,15 mm) é encontrada desta forma na natureza ou gerada no beneficiamento. A pelotização tem como produto aglomerados esféricos de tamanhos na faixa de 8 a 18 mm, com características apropriadas para alimentação das unidades de redução, tais como altos-fornos.

A queima é feita em fornos de grelha móvel, nos quais as pelotas cruas atravessam zonas sucessivas de secagem, cozimento e resfriamento, com aproveitamento do calor sensível do ar utilizado no resfriamento para a queima do combustível empregado para suprir as demandas térmicas do forno, usualmente o óleo combustível ou gás natural.

Em consequência do contato direto do ar de resfriamento e dos gases resultantes da queima do óleo combustível com o produto, os poluentes associados ao processo são material particulado, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio. O material particulado é representado tanto por aquele gerado na queima do óleo, quanto pelos finos de minério carregados pelos gases.

**Centrais Termelétricas** é uma instalação industrial usada para geração de energia elétrica a partir da energia liberada em forma de calor, normalmente por meio da combustão de algum tipo de combustível renovável ou não renovável.

Ultimamente, as siderúrgicas têm investido na instalação de Centrais Termelétricas para geração própria de energia elétrica, utilizando como combustíveis os gases e óleos excedentes gerados nas usinas que, geralmente complementados por gás natural, são queimados em caldeiras projetadas para esta finalidade.

O aproveitamento dos gases siderúrgicos pressupõe seu tratamento para remoção parcial de componentes indesejáveis, capazes de promover entupimentos nas tubulações de distribuição ou ataques às partes metálicas com as quais entram em contato. Contudo, os gases provenientes da coqueria (GCO), alto-forno (GAF) e aciaria (GAC) ainda agregam material particulado e compostos de enxofre remanescentes do tratamento e, quando queimados, dão origem aos poluentes: MP, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>.

---

O Quadro 1 sintetiza a descrição das principais fontes pontuais, poluentes emitidos e sistemas de controle usualmente adotados nas respectivas unidades produtivas.

QUADRO 1- SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO PONTUAL

Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	Descrição das Fontes	Poluentes	Sistemas de Controle
Coqueria	Sistema de Despoeiramento do Desenformamento	Captação e tratamento dos efluentes gerados no desenformamento do coque.	MP	Filtro de manga
	Câmara de Combustão de aquecimento dos Fornos de Coque	Exaustão dos gases de combustão do processo de aquecimento dos fornos de coque.	MP SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Controle de combustão e Boas práticas operacionais
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	Captação e tratamento do material particulado e gases gerados na máquina de produção do sinter.	MP SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Precipitador Eletrostático
	Sistema Secundário de Despoeiramento	Captação e tratamento do material particulado gerado nos processos de peneiramento, britagem e transferência do sinter.	MP	Precipitador Eletrostático ou Filtro de Manga
Alto-forno a Coque	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	Captação e tratamento do material particulado gerado nos processos de transferência, carregamento e descarregamento dos silos de matérias primas.	MP	Filtro de Manga e Lavador de gases
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	Captação e tratamento do material particulado gerado durante o vazamento de gusa dos fornos e carregamento dos carros torpedo.	MP	Filtro de Manga
Alto-Forno a Carvão Vegetal	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	Captação e tratamento do material particulado gerado nos processos de beneficiamento e alimentação, carregamento e descarregamento dos silos de matérias primas.	MP	Filtro de Manga
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	Captação e tratamento do material particulado gerado durante o vazamento de gusa dos fornos e carregamento dos carros torpedo.	MP	Filtro de Manga
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	Captação e filtragem do material particulado gerado no processo de injeção de oxigênio para produção de aço.	MP	Lavador de gases
	Sistema Secundário de Despoeiramento	Captação e filtragem do material particulado gerado nos processos de: basculamento e pesagem de gusa; remoção da escória; carregamento de gusa e sucata no conversor; vazamento do aço.	MP	Filtro de Manga
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	Captação e filtragem do material particulado gerado no processo de redução do teor de enxofre no gusa.	MP	Filtro de Manga
	Sistema de Despoeiramento dos Fornos de Cal	Captação e filtragem do material particulado gerado no processo de fabricação de cal.	MP	Filtro de Manga e lavador de gases
Aciaria Elétrica	Sistema Primário e de Despoeiramento	Captação e filtragem do material particulado gerado nos processos de fundição da sucata e refino do aço.	MP	Filtro de Manga
	Sistema Secundário de Despoeiramento	Captação e filtragem do material particulado gerado nos processos de: carregamento de sucata; vazamento do aço e escorificação e das emissões fugitivas da fundição de sucata e refino do aço.	MP	Filtro de Manga
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	Exaustão dos gases de combustão do processo de aquecimento dos fornos de produtos à laminar.	MP SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Controle de combustão e Boas práticas operacionais
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	Captação e tratamento para remoção do material particulado e gases gerados na queima das pelotas.	MP SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Precipitador Eletrostático
Central Termelétrica	Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	Exaustão dos gases de combustão do processo de geração de energia a partir da queima de gases e óleos em caldeiras.	MP SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Controle de combustão e Boas práticas operacionais

## 1.4 – SISTEMAS DE CONTROLE

### 1.4.1 – Controle de Material Particulado

#### a) Filtro de manga

A eficiência deste equipamento depende das características das partículas: granulometria, corrosividade, abrasividade, etc., bem como da qualidade dos elementos filtrantes.

Na siderurgia, as emissões de poeira apresentam baixa granulometria e alta abrasividade. Desta maneira, ocorre um grande desgaste dos meios filtrantes.

Em geral, os fornecedores de equipamentos, devido à qualidade das manga existentes no país, garantem valores de emissão de 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

As unidades de processo onde comumente são instalados filtros de manga são: coqueria, sinterização, alto-forno, aciaria LD e fornos elétricos a arco.

Os filtros de manga possuem limitações técnicas para aplicação em gases a altas temperaturas e elevado teor de umidade.

#### b) Precipitador eletrostático

Vários fatores causam instabilidade na operação dos precipitadores, tais como:

- Resistividade dos diferentes tipos de matérias-primas e combustíveis (quanto maior a resistividade, menor a eficiência);
  - Queda na eficiência de captação durante o batimento das placas do último campo, com conseqüente aumento de emissão nestes períodos. Esses picos de emissão causam grandes flutuações nos valores das medições;
  - Envelhecimento do precipitador – não é garantido que equipamentos com mais de 8 ou 10 anos de uso consigam atingir a eficiência de projeto;
-

- A alta taxa de reciclagem de resíduos nos processos de sinterização comumente utilizada no Brasil causa alterações na resistividade e em outras características das partículas.

Desse modo, os fornecedores desse equipamento, quando para emprego nas unidades de sinterização e pelotização, garantem valores de emissão na faixa de 70 mg/Nm<sup>3</sup> para novos equipamentos.

### **c) Lavadores de gases**

Os lavadores de gases são equipamentos de eficiência limitada para controle de emissão de partículas. Entretanto, são indicados quando os gases possuem altas temperaturas e características corrosivas ou explosivas.

A eficiência dos lavadores é função da perda de carga e do consumo de água. Desta maneira seu desempenho fica limitado pelo consumo exagerado de água e demanda de grande espaço físico para o tratamento dos efluentes, atingindo-se, em geral na unidade de calcinação, onde é mais utilizado, concentrações na faixa de 100 mg/Nm<sup>3</sup>.

## **1.4.2 – Controle de gases**

### **a) Controle de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)**

As emissões dependem do teor de enxofre no carvão, minério de ferro e combustível utilizado nos processos de combustão.

O controle das emissões através da dessulfuração somente é recomendado, mesmo a nível internacional, quando há problemas de violação aos padrões de qualidade do ar.

No Brasil, a qualidade do ar no entorno das usinas siderúrgicas tem se apresentado dentro dos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 03/1990 para óxidos de enxofre.

### **b) Controle de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)**

Não constitui ainda prática no Brasil o seu controle. Portanto, não se dispõe ainda de maiores informações das tecnologias de controle aplicáveis e em uso no Brasil.

---

## 2. METODOLOGIA ADOTADA

Inicialmente a FEAM apresentou proposta de trabalho solicitando os seguintes itens: caracterização do setor no País, com atualização dos dados até 2008; descrição dos processos de produção da indústria de siderurgia, fornecimento da série histórica do monitoramento das fontes do setor no que se refere aos valores médios das concentrações e vazões de saída na chaminé e o repasse detalhado pelo setor, de informações de cada unidade de produção e respectivas fontes como, sistemas de controle e eficiência de remoção do poluente; altura e diâmetro da chaminé; vazão dos gases; padrões de emissão; tipo de monitoramento; frequência do monitoramento; idade da planta e tecnologia empregada.

Entretanto, o setor alegou dificuldade para compatibilizar tecnologias novas àquelas já empregadas em plantas antigas. Considerou desnecessário fornecer os dados de vazão; altura e diâmetro na chaminé, alegando que esses dados serviriam apenas para a modelagem matemática de dispersão e estimativa das concentrações dos poluentes no meio ambiente para determinação da influência de suas fontes na qualidade do ar. Foi então apresentada proposta conforme item que se segue.

Levando-se em consideração a tecnologia, idade da planta e sistema de controle das emissões atmosféricas dessa tipologia industrial, a metodologia adotada consistiu em fazer o levantamento pelo IABr, junto às usinas do país, dos dados de emissão dos poluentes atmosféricos e unidades de produção listadas na resolução CONAMA 382/2006; fazer visita técnica a usina siderúrgica; encaminhamento dos dados coletados e já consolidados pelo IABr para a FEAM; análise estatística dos dados pela FEAM; avaliação do Sistema de Controle passível de garantir a concentração proposta de saída nas emissões; experiência dos participantes e os padrões constantes do Anexo XIII da Resolução CONAMA 382/2006, os quais foram tomados como níveis de referência de emissões atmosféricas e de ganho ambiental.

O IABr selecionou os dados em função dos empreendimentos e data de amostragem, porém sem especificar os sistemas de controle de emissão por empreendimento das várias unidades produtivas relativos ao período de 2005 a 2008. Em seguida, encaminhou-os a FEAM, em planilhas do Excel, expressos em concentração ou taxa de emissão, para material particulado, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, medidos em chaminé. Para cada empresa foi atribuída denominação genérica e os tipos de sistema de controle foram

---

associados apenas, de maneira geral, à cada unidade produtiva. Nem todas as empresas apresentaram dados em todos os anos do período de amostragem, conforme Quadro 2.

QUADRO 2 – EMPRESAS POR UNIDADE PRODUTIVA, FONTES, POLUENTES E ANO DE AMOSTRAGEM

Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	Poluentes	Empresas Genéricas	Amostragem anual por Empresa*				Sistemas de Controle
				2005	2006	2007	2008	
Coqueria	Sistema de Despoeiramento do Desenformamento	MP	A,G,H,O	A,G,H,O	A,G,H,O	G,H,O	G,H,O	Filtro de manga
	Câmara de Combustão dos Fornos de Coque	MP	A, G, N, O	A, G	A,G	A,G,O	A,G,O,N	Controle de combustão e Boas práticas operacionais
		SO <sub>2</sub> e NOx	A, N, O	A,O	A,O	A,O	A,O,N	
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	MP e NOX	A,E,G,H,N,O	A,E,G,H,N,O	A,E,G,H,N,O	A,E,G,H,N,O	A,E,G,H,N,O	Precipitador Eletrostático
		SO <sub>2</sub>	A,E,H,N,O	A,E,H,N,O	A,E,H,N,O	A,E,H,N,O	A,E,H,N,O	
	Sistema Secundário de Despoeiramento	MP	A,E,G,H,N,O	A,E,G,H,N,O	A,E,G,H,N,O	A,E,G,H,N,O	A,G,H,N,O	Precipitador Eletrostático ou Filtro de Manga
Alto-forno a Coque	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	MP	D,E,G,H,N,O	D,E,G,H,N,O	D,E,G,H,N,O	D,E,G,H,N,O	D,E,G,H,N,O	Filtro de Manga e Lavador de gases
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	MP	A,D,E,G,H,N	D,E,G,H,N	A,E,G,H,N	A,E,G,H,N	A,D,E,G,H,N	Filtro de Manga
Alto-Forno a Carvão Vegetal	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	MP	B,D,I,K,P	D,I,K,P	D,I,K,P	B,D,I,K	D,I,K,P	Filtro de Manga
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	MP	B,I,K,P	I,K,P	I,K,P	B,I,K,P	I,K,P	Filtro de Manga
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	MP	D,E,G,I,K,N,P	D,E,G,I,K,N,P	D,E,I,K,N,P	D,E,G,I,K,N,P	D,E,G,I,K,N,P	Lavador de gases
	Sistema Secundário de Despoeiramento	MP	E,G,H,I,K,N,O,P	E,G,I,K,N,O	E,G,H,I,K,N,O	E,G,H,I,K,N,O,P	E,G,H,I,K,N,O	Filtro de Manga
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	MP	A,D,E,G,H,N,O	A,D,G,O	G,N,O	A,E,G,H,N,O	D,E,O	Filtro de Manga
	Sistema de Despoeiramento dos Fornos de Cal	MP	G,O	G,O	G,O	G,O	G,O	Filtro de Manga e lavador de gases
Aciaria Elétrica	Sistema Primário de Despoeiramento	MP	D,E,G,I, K, N,P	D,E,G,I, K,N,P	D,E,I, K,N,P	D,E,G,I, K,N,P	D,E,G,I, K,N,P	Filtro de Manga
	Sistema Secundário de Despoeiramento	MP	B,C,F,J,L,M,R,S	B,C,F,L,M,R,S	B,C,F,J,M,R	C,F,J,M,R	F,J,M	Filtro de Manga
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	MP	A, H, N	A,H	A,H	A,H	A,H,N	Controle de combustão e Boas práticas operacionais
		NOx	A, N, O	A,O	A,O	A,O	A,N,O	
		SO <sub>2</sub>	A, H, N, O	A,H,O	A,H,O	A,H	A,N,O	
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	MP, SO <sub>2</sub> , NOx	Q	Q	Q	Q	Q	Precipitador Eletrostático
Central Termelétrica	Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	MP	A,D,E,G,H,N,O	A,D,E,G,N,O	A,D,E,G,N,O	A,E,G,N,O	A,E,H,N,O	Controle de combustão e Boas práticas operacionais
		SO <sub>2</sub>	A,D,G,H,N,O	A,D,H,N,O	A,D,G,H,N,O	A,H,O	A,H,N,O	
		NOx	A,D,G,H,N,O	A,D,N,O	A,D,G,N,O	A,O	A,H,N,O	

\* Fonte: IABr

Os dados de medição brutos, relacionados ao número de observações consideradas, foram transpostos para gráficos de linha para se avaliar a série temporal. Retas correspondentes aos valores da concentração média apurada, do Percentil 95 e do valor proposto para o Limite Máximo de Emissão também foram transpostos.

Para avaliar a variabilidade das medições em cada empreendimento, foi utilizado o gráfico em caixas, de forma a identificar os valores que poderiam ser considerados extremos para cada empreendimento.

O gráfico em caixas é representado por diagramas no formato retangular, baseado em quartis (Q), mediante o qual se visualiza um conjunto de dados. É utilizado também para identificar valores extremos de emissão para cada empreendimento. Se a mediana não está no centro do retângulo, a distribuição não é simétrica (SOARES & SIQUEIRA, 1999)[3].

Os gráficos em caixa apresentam o percentil 25 (Q1) que é o limite inferior de cada caixa, a mediana, que é a linha no interior de cada caixa (Q2) e o percentil 75 (Q3), que é o limite superior de cada caixa, ou seja, dentro de cada caixa está a metade das medições de cada empreendimento.

Se uma das caixas distancia-se das demais, isso é um indicativo de que se refere a um empreendimento, cujas características são diferente das demais, devendo ser avaliado separadamente.

Os *outliers*<sup>1</sup>, dados muito discrepantes em relação ao conjunto de dados, provavelmente associados a eventos atípicos, quer nas amostragens ou na própria operação da fonte e portanto, não pertencentes ao processo.

Como se trata de valores extremos (*outliers*) para o próprio empreendimento, esses valores não são indicados para avaliação, definição ou proposição dos limites máximos de emissão.

Para exclusão desses dados foi verificado também o distanciamento dos mesmos em relação ao grupo como um todo através de histogramas e gráficos de série temporal.

Após essa análise foi calculado o percentil 95, considerando todo o grupo de empreendimentos.

---

<sup>1</sup> = **Outliers** – as observações que apresentam um grande afastamento das restantes ou são inconsistentes com elas são habitualmente designadas por *outliers*. Estas observações são também designadas por observações “*anormais*”, *contaminantes*, *estranhas*, *extremas* ou *aberrantes*.

---

### 3. ANÁLISE DE DADOS E JUSTIFICATIVAS

Do resultado das discussões técnicas ocorridas no período de dezembro/2008 a abril/2010, 75% dos padrões propostos, considerando cada poluente por fonte de emissão, ficaram com valores idênticos aos padrões das fontes novas. Para esses casos, justificativas técnicas adicionais foram dispensadas. Como a Resolução CONAMA 382/2006 foi adotada como referência principal, torna-se relevante apresentar agora apenas as justificativas referentes aos padrões propostos que diferiram dos limites estabelecidos nessa resolução.

Para efeito de comparação e análise, as justificativas serão apresentadas na sequência das unidades produtivas e fontes abaixo e não das etapas de produção do aço.

- alto-forno a coque – despoeiramento casa de estocagem;
- sinterização – despoeiramento primário;
- sinterização – despoeiramento secundário;
- coqueria – combustão dos fornos de coque;
- laminação – fornos de reaquecimento de placas para material particulado e
- laminação – fornos de reaquecimento de placas para dióxido de enxofre.
- central termelétrica – caldeira com queima de gases siderúrgicos;

A seguir são apresentados, a análise estatística, gráficos, assim como considerações relativas ao uso do sistema de controle referentes aos dados de emissão dos poluentes: Material Particulado (MP) e SO<sub>2</sub>, corrigido o teor de oxigênio, em função das respectivas unidades e fontes de emissão citados no parágrafo acima.

---

### 3.1 – Alto-Forno a Coque – Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem - MP

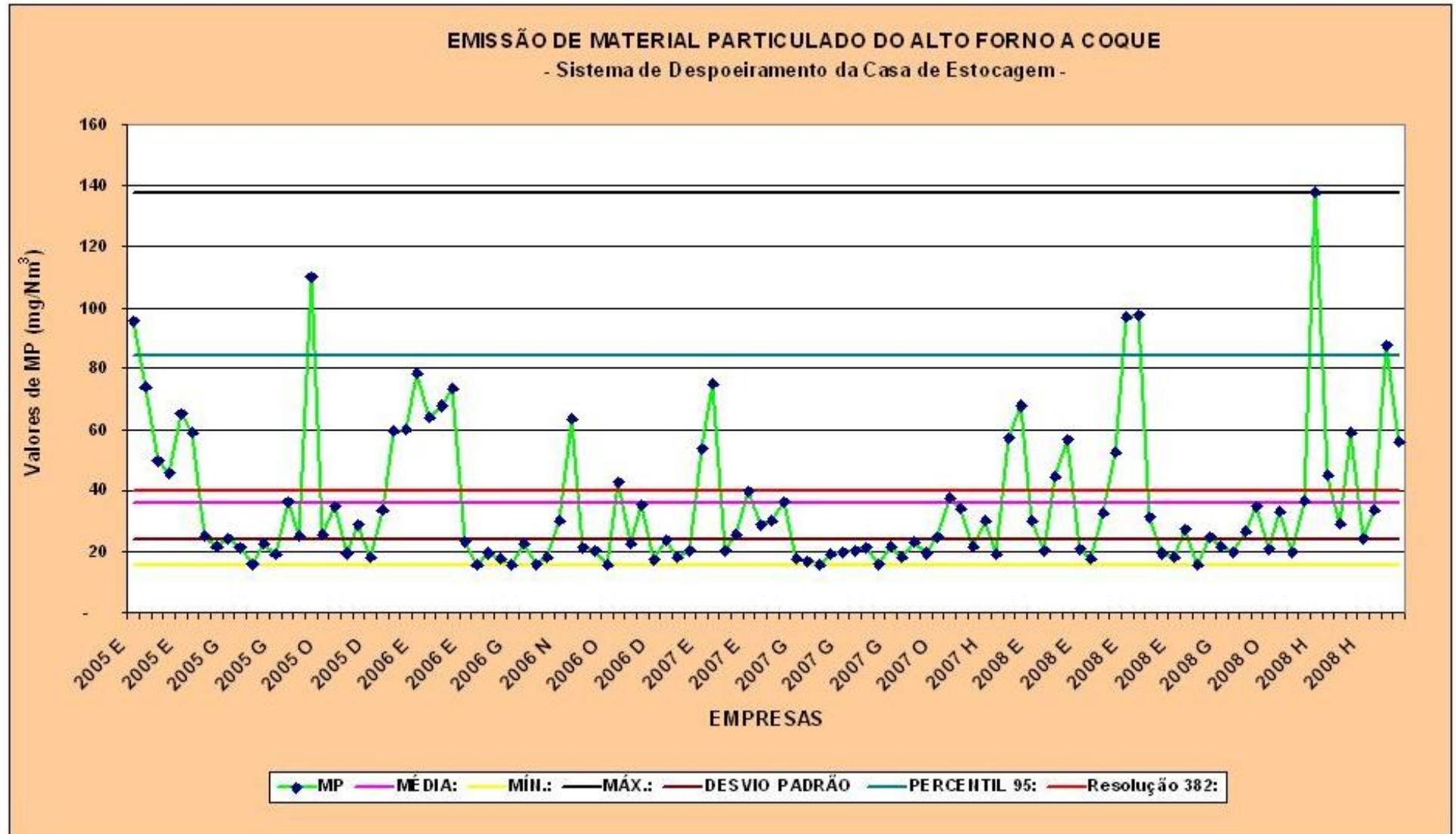


Figura 2 – Gráfico valores de emissão de MP sistema de despoeiramento do alto-forno a coque das empresas “D”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”

### 3.1.1 – Análise de todas as empresas

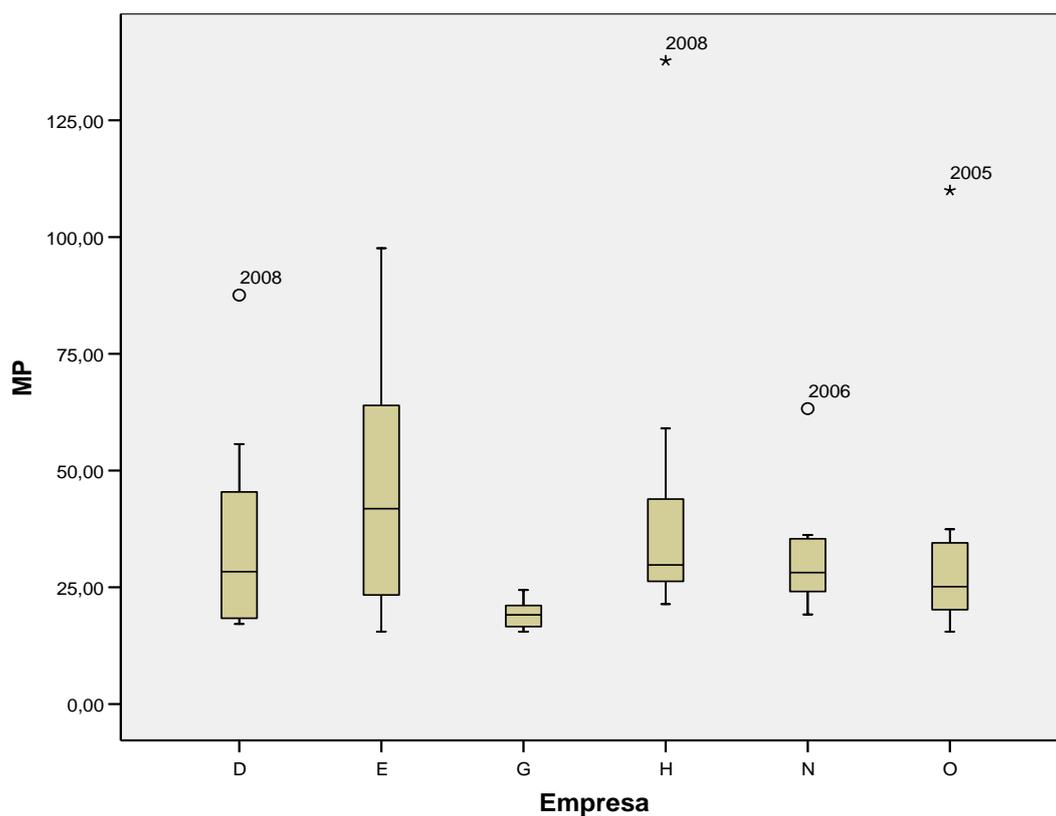


Figura 3 – Gráfico em caixa de emissão de MP do sist. Desp. Casa de estocagem alto-forno a coque das empresas “D”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”

### 3.1.2 - Frequência $\leq 80 \text{ mg/Nm}^3$ – MP alto-forno a coque – Casa de estocagem

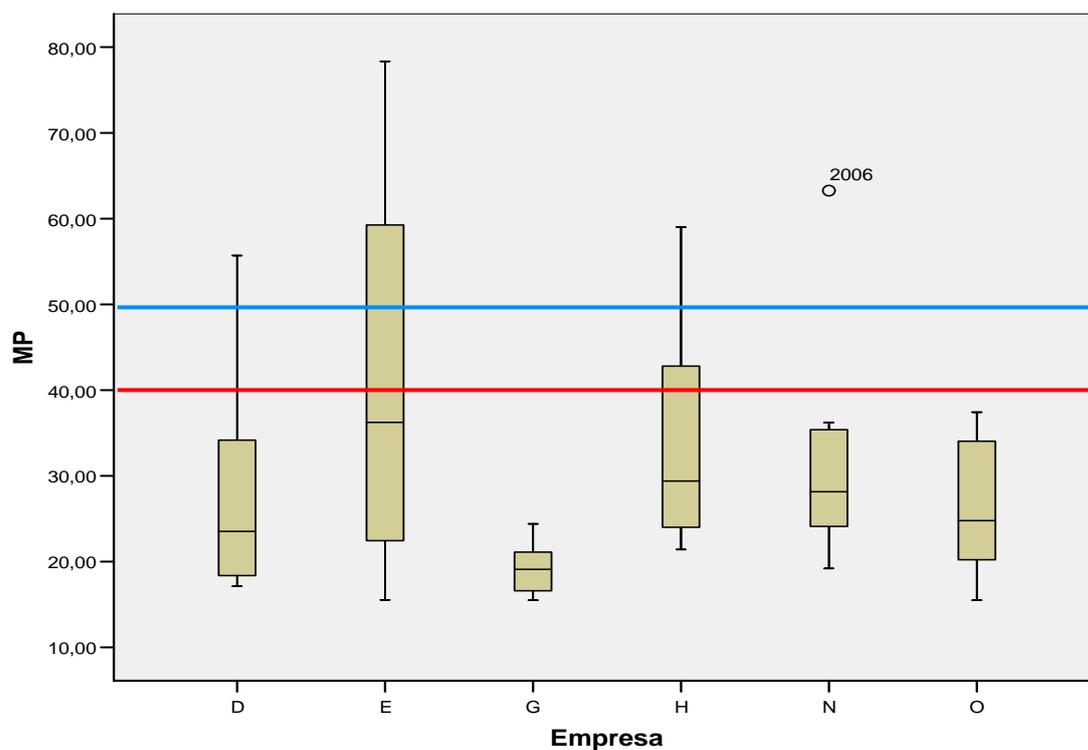


Figura 4 – Gráfico em caixa emissão MP sist. Desp. Casa de estocagem alto-forno a coque das empresas “D”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”, frequência conc.  $\leq 80 \text{ mg/Nm}^3$  e sem outliers das empresas “D”, “H” e “O”.

Observando o gráfico da figura 4, obtido da análise estatística, verifica-se que as empresas “E” e “H” são as que apresentam os maiores níveis dentro da distribuição de dados e que as empresas “D”, “G”, “N” e “O” estão próximas ao padrão de referência da resolução CONAMA 382/2006.

Como o sistema usual de controle desta fonte de emissão é o filtro de manga, o fator limitante é a característica de abrasividade do material particulado, que pode comprometer a efetividade de retenção dos filtros de manga empregados no controle desta fonte. Por isso, foi proposto o valor de  $50 \text{ mg/Nm}^3$  (linha azul no gráfico da figura 4), que está 25% acima do valor de referência, que é de  $40 \text{ mg/Nm}^3$  (linha vermelha no gráfico da figura 4).

---

### 3.2 – Sinterização – Sistema Primário de Despoeiramento – MP

#### 3.2.1 – Análise de todas as empresas

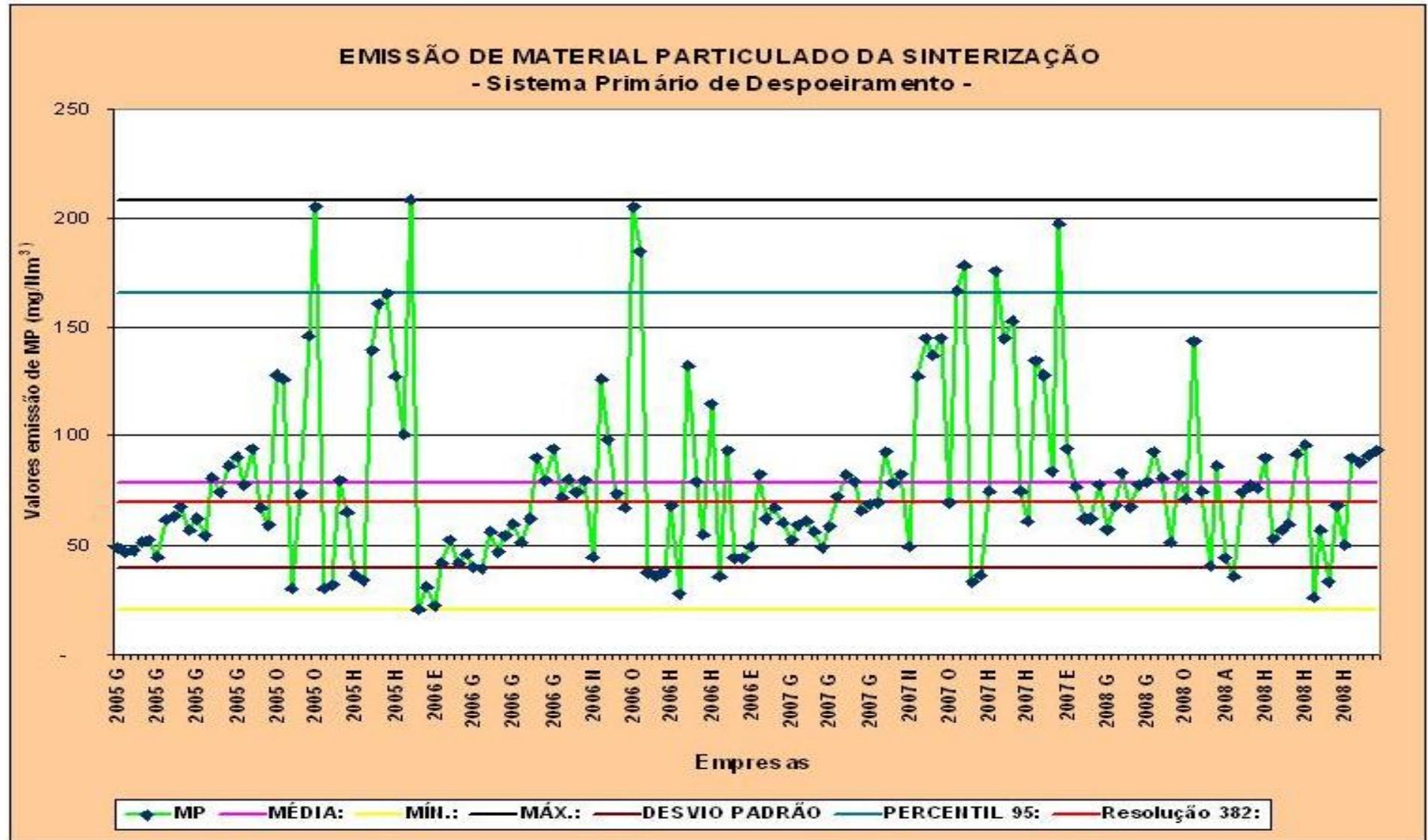


Figura 5 - Gráfico dos valores emissão de MP sistema primário de despoeiramento sinterização das empresas “A”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”

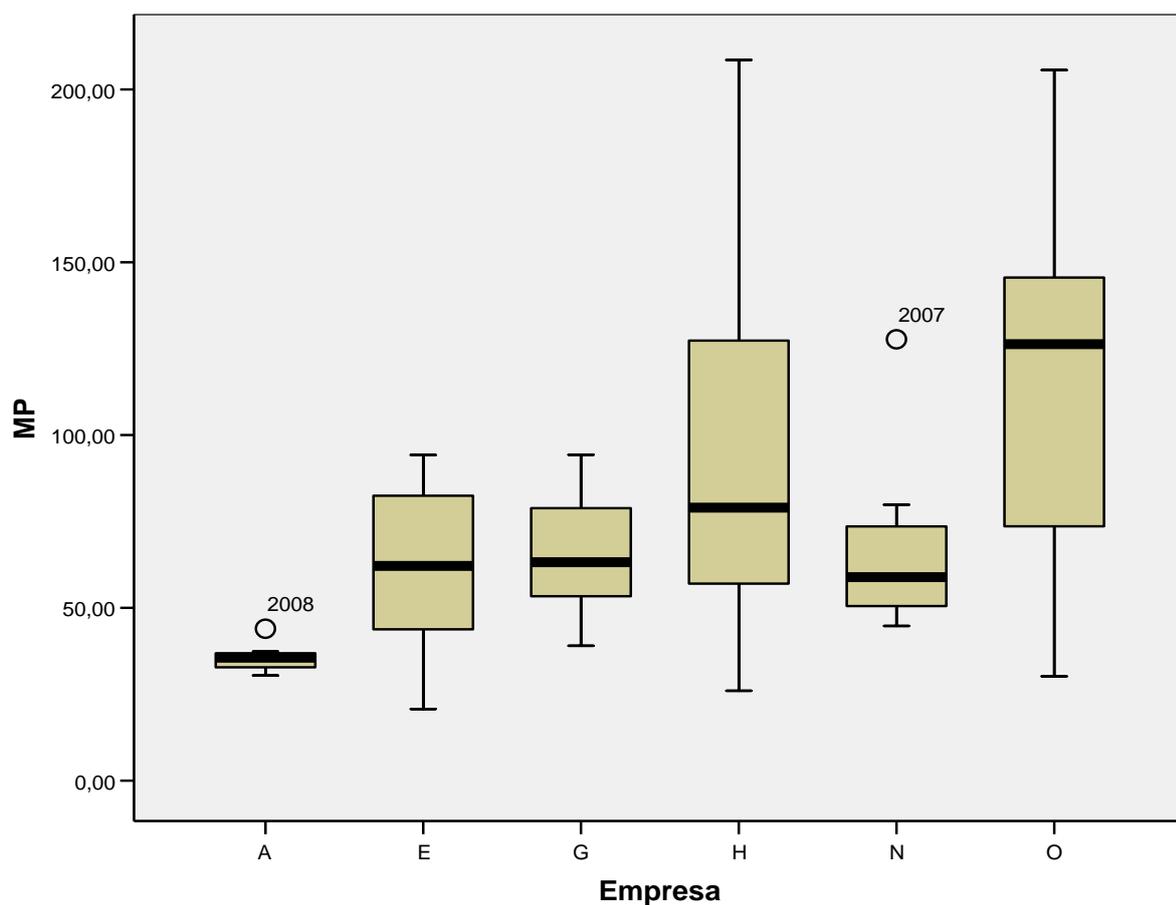


Figura 6 – Gráfico em caixa emissão MP da sinterização primária das empresas “A”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”

### 3.2.2 - Análise após retirada da empresa “O” (24 observações)

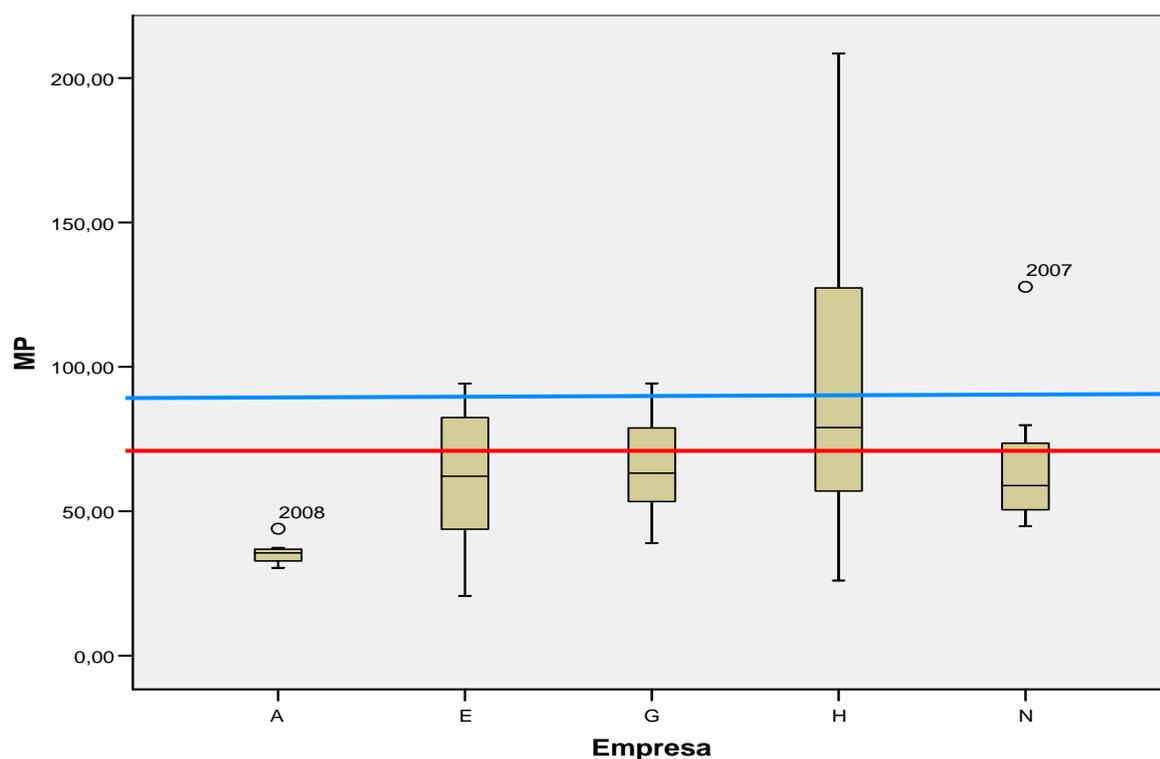


Figura 7 – Gráfico em caixa de emissão MP da sinterização primária, exceto a empresa “O”

Observando-se as figuras 5 e 6, destacam-se as empresas “H” e “O” por apresentarem os maiores níveis. Quando se exclui os dados da empresa “O” os valores aproximam-se do valor proposto, 90 mg/Nm<sup>3</sup> (linha azul no gráfico da figura 7). Entretanto, se houver a exclusão também dos dados da empresa “H” tem-se uma aproximação do padrão de referência da Resolução CONAMA 382/2006, 70 mg/Nm<sup>3</sup> (linha vermelha da figura 7).

Segundo a UNEP [4] o uso de um precipitador eletrostático ou filtro de manga no sistema de despoejamento primário da sinterização são capazes de reduzir as concentrações de material particulado para valores inferiores a 50 mg/Nm<sup>3</sup>. A legislação americana, USEPA [5] e a alemã, TA Luft [6], impõem valores de emissão para MP para fontes existentes da sinterização abaixo e igual a esse valor, respectivamente.

Entretanto, para atender o limite de emissão da referida Resolução Conama de 70 mg/Nm<sup>3</sup>, seriam necessários grandes complementos de área filtrante, e até mesmo a troca completa dos equipamentos. Neste caso, a indisponibilidade de espaço e os problemas potenciais de balanceamento de vazão podem ser os limitantes de projeto.

Além disso, na sinterização de uma usina integrada de médio porte consome-se cerca de 40 kg de subprodutos (resíduos gerados pelo processo industrial) para cada tonelada de sínter produzido. Isto leva a uma reutilização mensal de cerca de 5.800 t/mês de resíduos.

Esta quantidade de resíduos reutilizados resulta numa redução de 4.000 t por mês de consumo de minério de ferro (recurso natural não renovável), além de reduzir significativamente a taxa de resíduos destinados para aterro industrial (passivo ambiental).

Portanto, foi acordado o valor de 90 mg/Nm<sup>3</sup> por apresentar-se aquém do Percentil 95 obtido pela análise estatística e pelo ganho ambiental indireto resultante da reutilização de resíduos. Logo, justifica-se a proposição de um padrão aproximadamente 30% maior que o limite de referência.

---

### 3.3 – Sinterização – Sistema Secundário de Despoejamento – MP

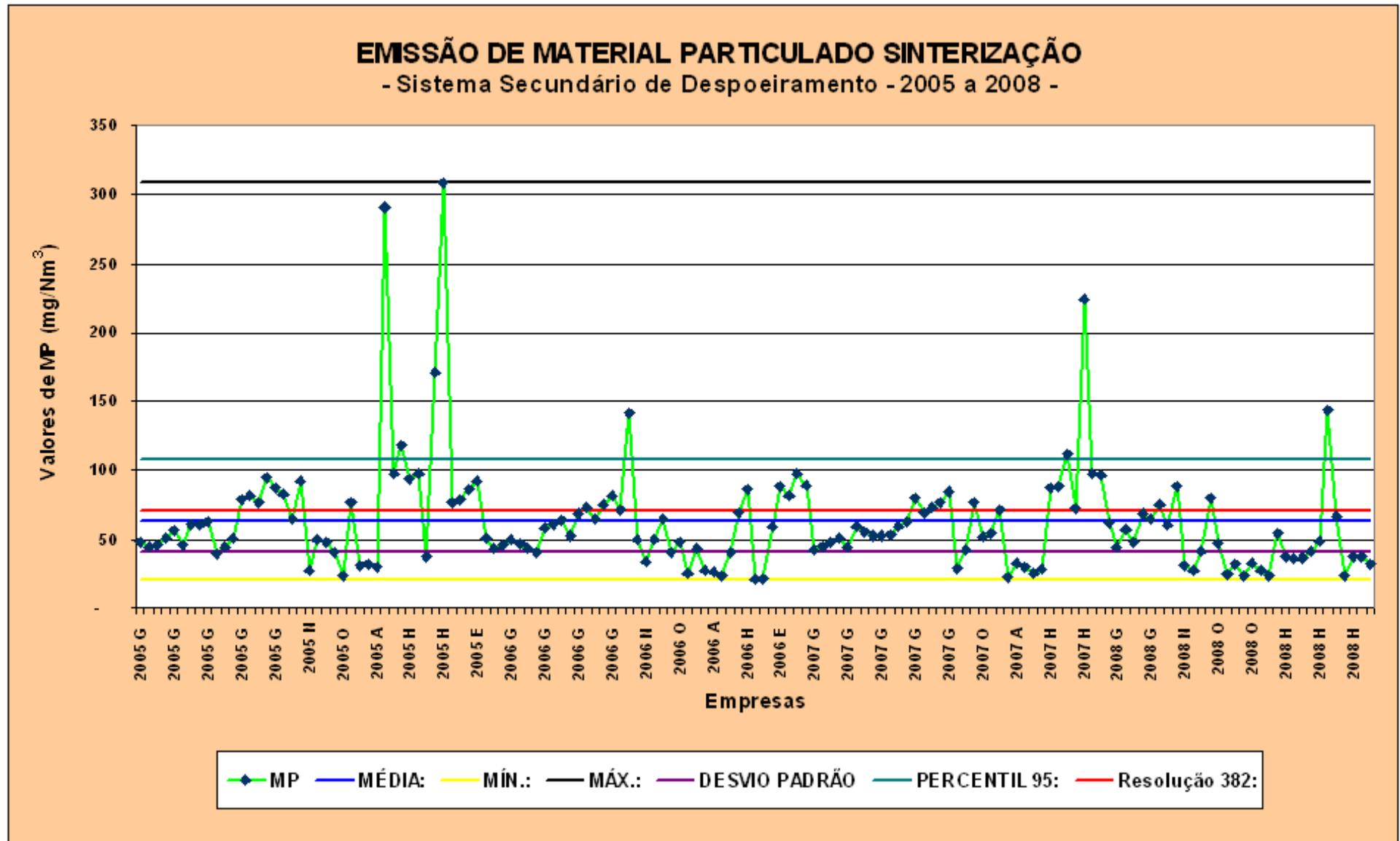


Figura 8 - Gráfico valores de emissão de MP sistema secundário de despoejamento sinterização das empresas "A", "E", "G", "H", "N" e "O"

### 3.3.1 – Análise de todas as empresas

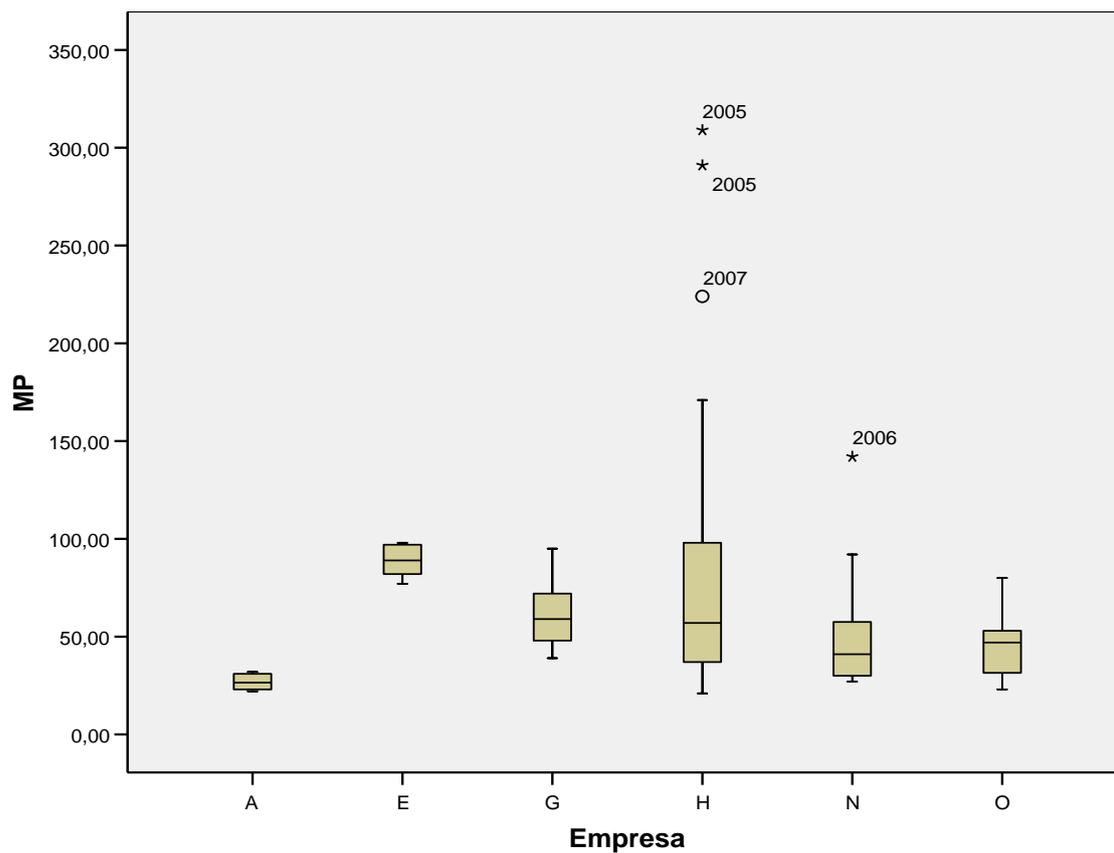


Figura 9 – Gráfico em caixa de emissão MP sist.sec. Desp. Sinter. empresas “A”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”

### 3.3.2 – Análise de todas as empresas, frequência conc. $\leq 100 \text{ mg/Nm}^3$

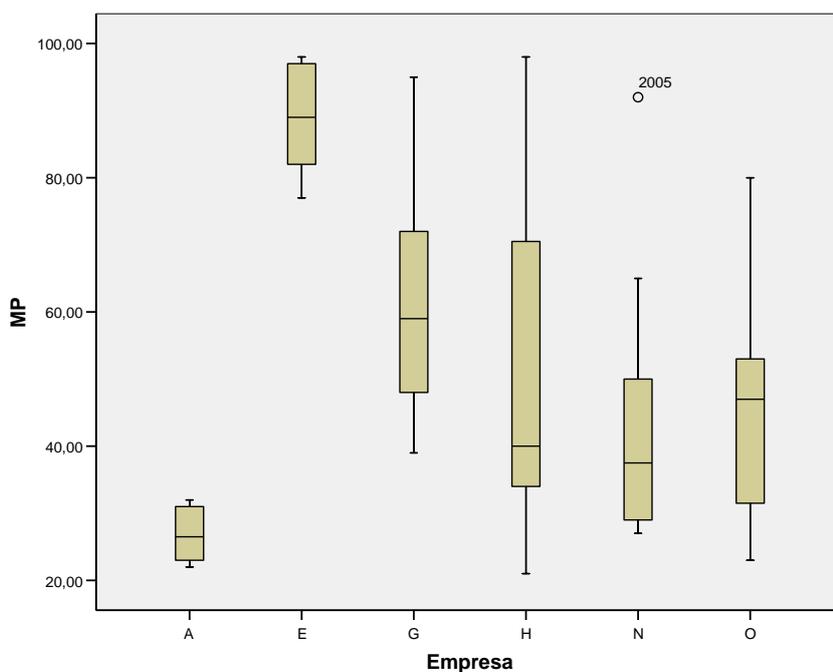


Figura 10 – Gráfico em caixa emissão MP sist. sec. Desp. Sinter. empresas “A”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O” (freq.  $\leq 100$ )

### 3.3.3 – Análise de todas as empresas, freq. conc. $\leq 100 \text{ mg/Nm}^3$ , sem a empresa “E”

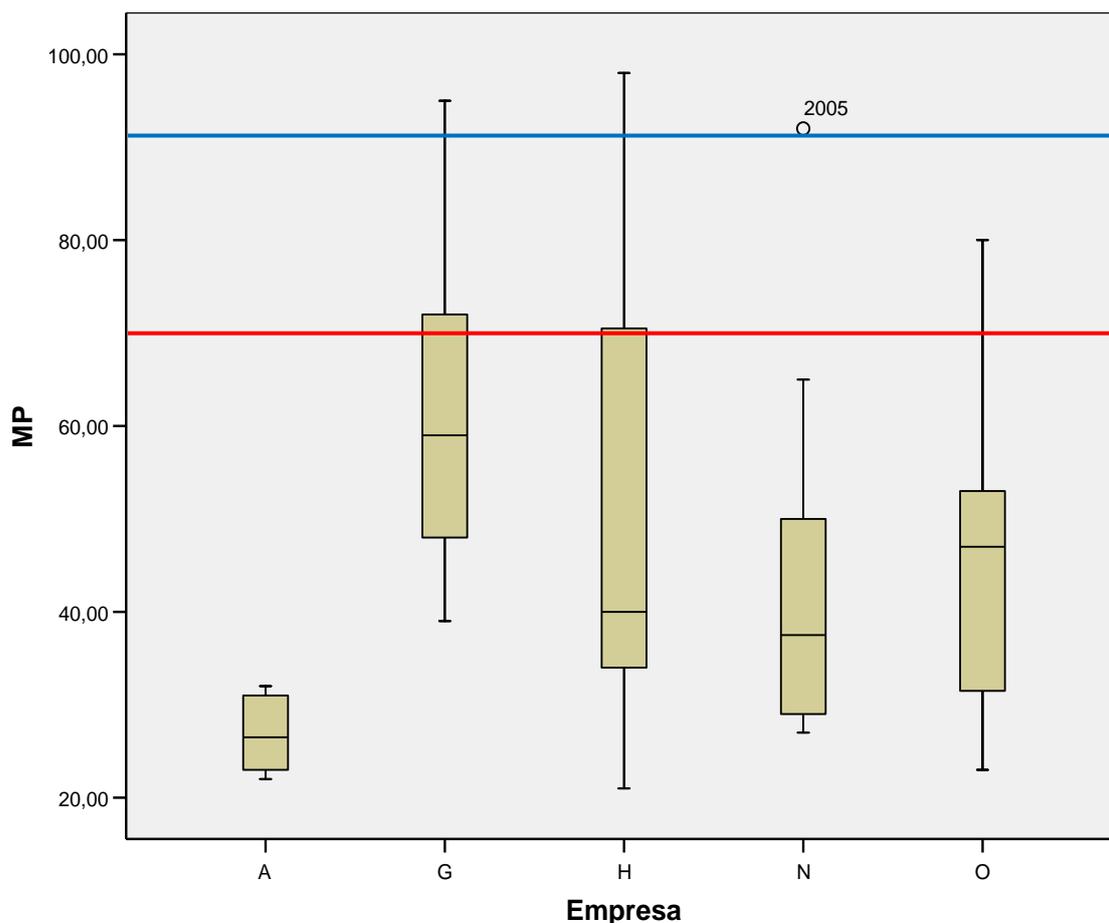


Figura 11 – Gráfico em caixa emissão MP sist. sec. Desp. Sinter. empresas “A”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O” – freq.  $\leq 125$

Observa-se no gráfico da figura 9 a presença de *outliers* referente às empresas “H” e “N”. Após análise estatística, o percentil 95 de todas as empresas valores menores ou iguais a 100 apresentou um valor de 87,8. Na figura 10, nota-se que a empresa “E” destaca-se do conjunto dos dados apresentando os valores mais altos. Por último, a figura 11 mostra uma distribuição mais próxima do padrão de referência da resolução CONAMA 382/2006 (linha vermelha), após retirada da empresa “E”, sem 2 observações da empresa “H” e com a retirada de classes vazias no histograma.

Por outro lado, sabe-se que o emprego de equipamentos de sistema de controle, como o uso de filtros de manga, pode garantir uma concentração de  $50 \text{ mg/Nm}^3$  na emissão de particulados na chaminé. Como o padrão requerido pela resolução CONAMA 382/2006 é de  $70 \text{ mg/Nm}^3$ , a princípio poder-se-ia instalar um filtro de manga, dimensionado para garantir o atendimento do padrão de referência.

Todavia, torna-se difícil atender esse limite de emissão de  $50 \text{ mg/Nm}^3$ , pois os filtros de mangas mais antigos possuem tecnologia menos desenvolvida, como por exemplo, filtros com sistema de limpeza por *shaker*<sup>2</sup> e filtros projetados com baixa eficiência [7].

Os filtros com limpeza por jato pulsante são na sua maioria do tipo *online* (filtração e limpeza simultânea) que reduz a eficiência de limpeza com velocidades normais de passagem de gases. Nestes casos, os sistemas eletrônicos de limpeza mais antigos contribuem para esta limitação.

Da mesma forma, a questão da distribuição interna dos gases e o dimensionamento dos elementos filtrantes são limitantes tanto da vida útil como da performance em geral.

Melhorias dos materiais dos elementos dos filtros têm dado maior garantia e vida útil, menor desgaste por abrasão e maior permeabilidade com mesma eficiência, mas sozinhos não são capazes de diminuir as concentrações de projeto.

Por todas essas razões foi então proposto como limite máximo de emissão para material particulado proveniente da sinterização,  $90 \text{ mg/Nm}^3$  (linha azul no gráfico da figura 11).

---

**2 = shaker** – Sistema vibratório, com movimento geralmente na horizontal, para remover partículas depositadas. Uma limpeza completa raramente é alcançada uma vez que uma grande quantidade de esforço deve ser utilizada durante vários minutos para remover as partículas das mangas.

---



### 3.4.1 – Análise de todas as empresas

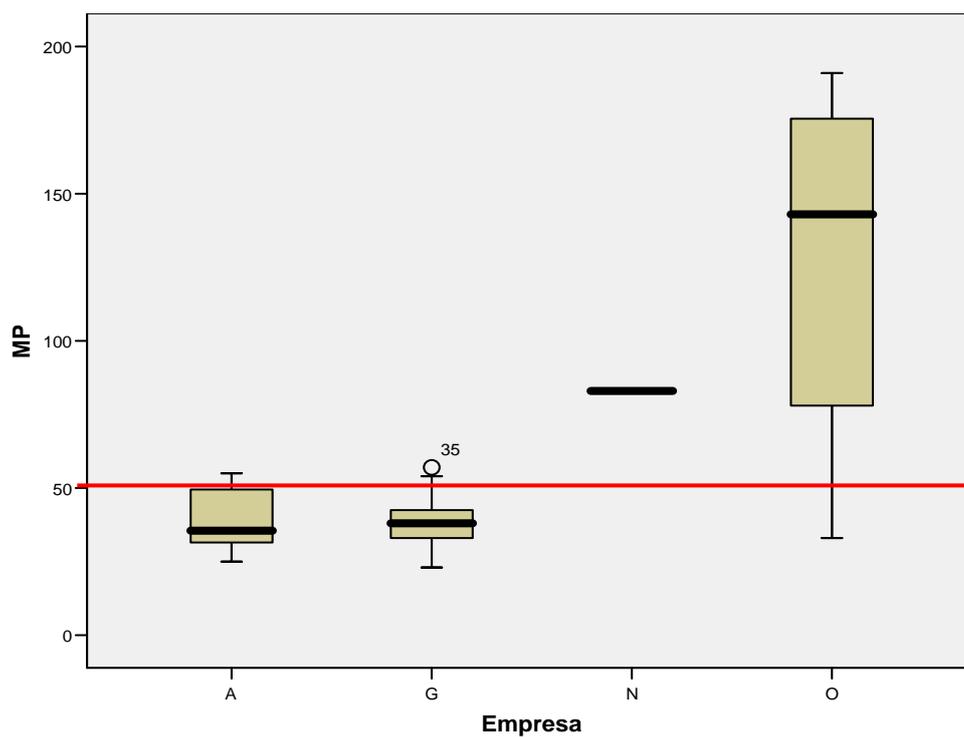


Figura 13 – Gráfico em caixa de emissão MP dos fornos a coque das empresas “A”, “G”, “N” e “O”

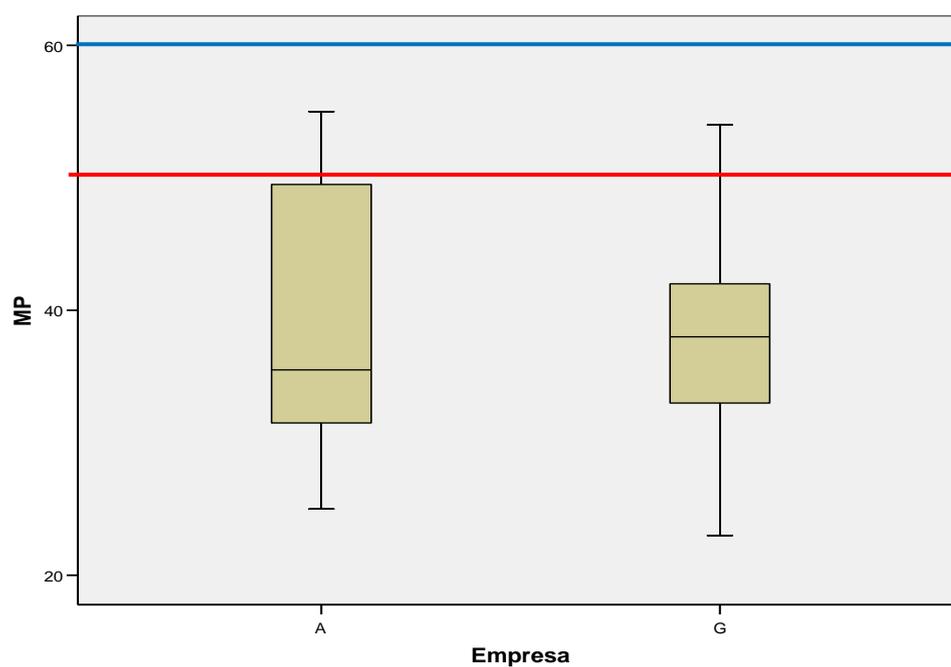


Figura 14 – Gráfico em caixa de emissão MP dos fornos a coque das empresas “A” e “G”.

### 3.4.2 – Análise sem as empresas “N” e “O”.

Analisando as Figuras 12, 13 e 14, verifica-se que as empresas “N” e “O” apresentam características distintas das empresas “A” e “G”. Conquanto a análise estatística, após retirada dos dados das empresas “N” e “O”, apresente o percentil 95 das demais empresas com um valor de  $50 \text{ mg/Nm}^3$ , que é o mesmo valor do padrão de referência (linha vermelha nos gráficos das figuras 13 e 14) e conquanto se saiba que na Alemanha já alcançaram o padrão de  $10 \text{ mg/Nm}^3$ , conforme TA Luft [6], foi acordado o valor de  $60 \text{ mg/Nm}^3$  (linha azul no gráfico da figura 14), decorrentes dos argumentos apresentados a seguir.

O aquecimento dos fornos da coqueria é feito através de câmaras de combustão contíguas aos mesmos. As paredes dos fornos e câmaras são construídas com tijolos refratários.

Com o passar dos anos ocorrem “microfissuras” nas paredes de refratários, acarretando a emissão de material particulado diretamente para as chaminés.

A exaustão dos fornos não é forçada e não são instalados equipamentos de controle ambiental anteriormente às chaminés.

Com a ocorrência de “microfissuras” nas paredes dos fornos e pela dificuldade de controle do oxigênio, em função da vida útil das coquerias (a mais recente coqueria convencional do Brasil tem mais de 25 anos), torna-se difícil atender ao Limite de Emissão para fontes novas de  $50 \text{ mg/Nm}^3$  a 7% de oxigênio, estabelecido na Resolução CONAMA 382/2006.

Para minimizar a existência das “microfissuras” é feita a aplicação permanente de solda cerâmica (*dry sealing*), porém não se consegue eliminá-las totalmente.

Devido à existência de possíveis trincas nos fornos e outras situações que ocorrem durante a operação e que são consideradas comuns, tais como variações da composição do gás siderúrgico queimado na câmara de combustão justifica-se um padrão 20% maior que o limite de emissão de  $50 \text{ mg/Nm}^3$ .

---

### 3.5 – Laminação – Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos – MP

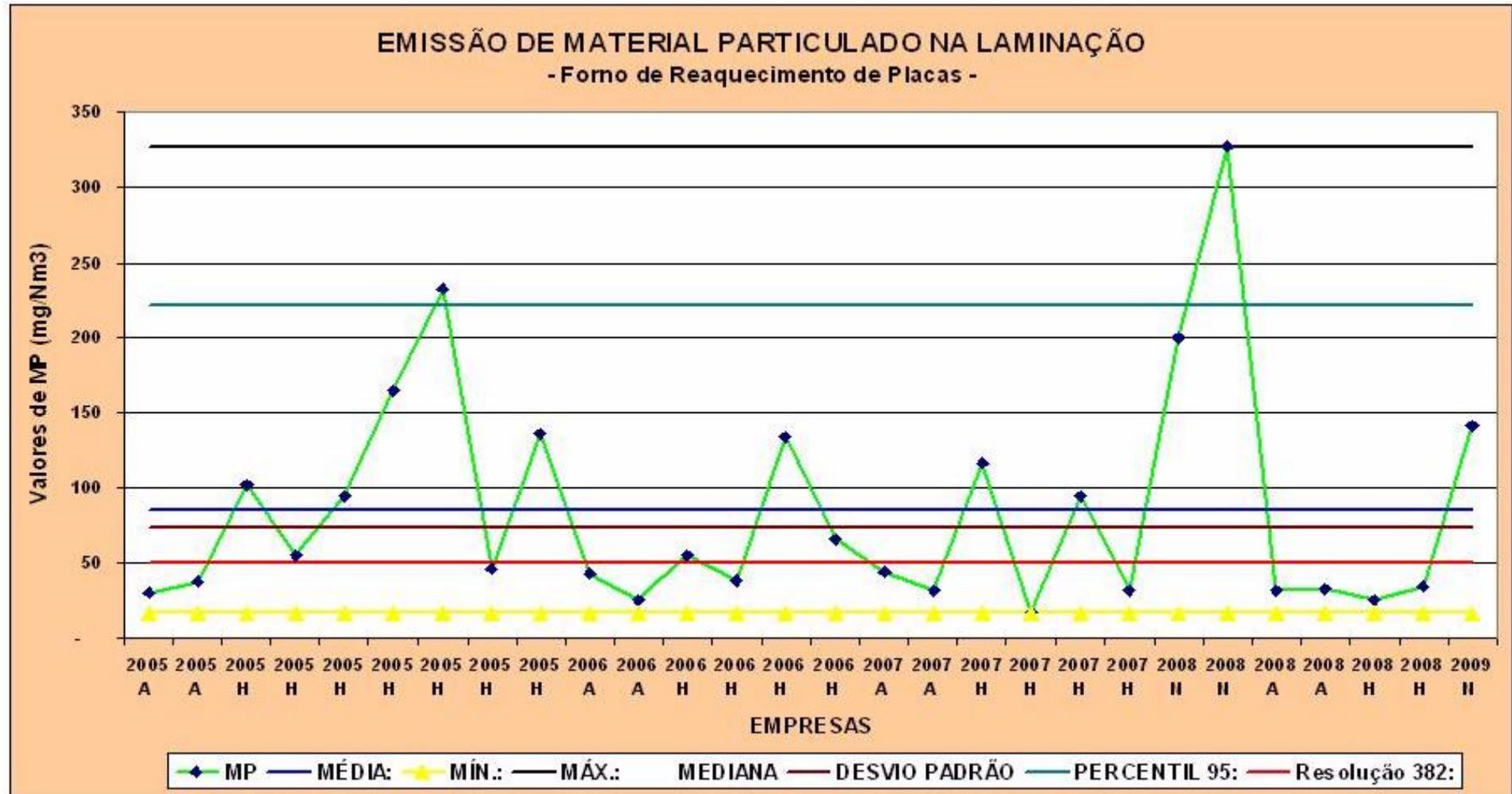
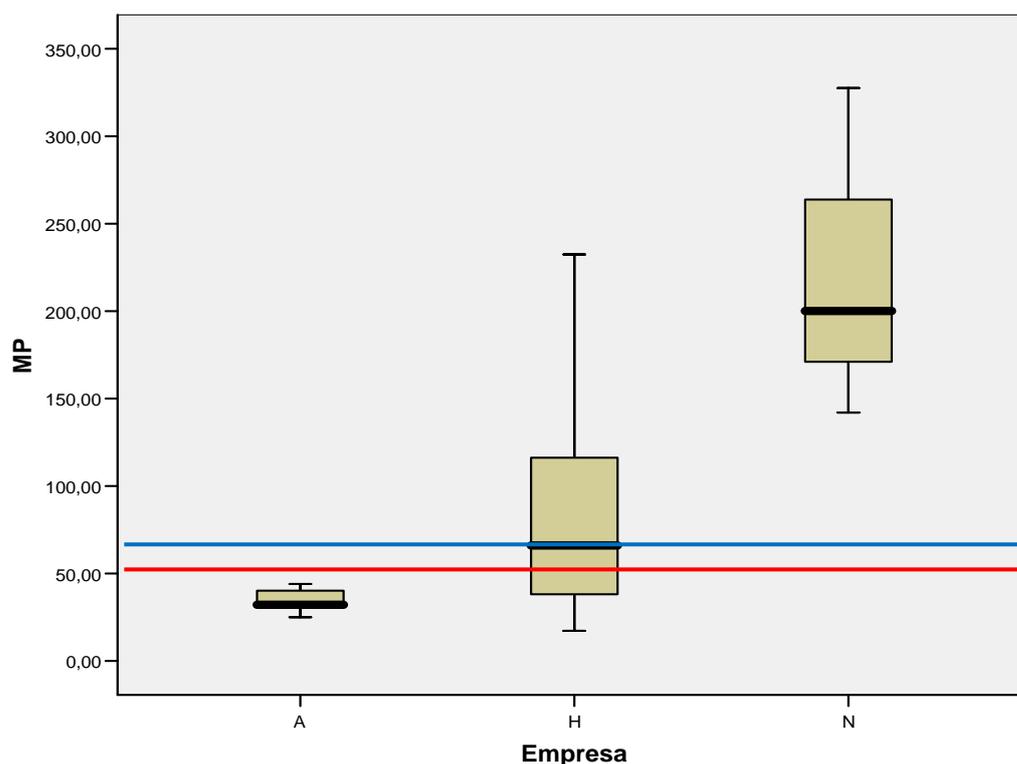


Figura 15 – Gráfico dos valores de emissão de MP dos fornos de reaquecimento de placas da laminação das empresas “A” e “H”



**Figura 16 – Gráfico em caixa emissão MP – laminação**

Nota-se nos gráficos das figuras 15 e 16 que a empresa “N” apresenta os maiores valores na distribuição, seguida da empresa “H”. De acordo com essa distribuição, apenas a empresa “A” atende ao padrão da resolução CONAMA 382/2006, que é de 50 mg/Nm<sup>3</sup> (linha vermelha da figura 16), referente às medições de material particulado na laminação.

A mediana referente às observações da empresa “N” está fora do intervalo inter-quartil das observações referentes às empresas “A” e “H”, portanto, as três observações da empresa N não foram consideradas na análise.

A rigor não há sistema de controle na exaustão da chaminé da unidade de laminação. As emissões são controladas mediante controle do processo de combustão e boas práticas operacionais. Portanto, o valor proposto foi de 60 mg/Nm<sup>3</sup> com concentração corrigida a 7% de O<sub>2</sub> (linha azul no gráfico da figura 16).

3.6 – Laminação – Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos – SO<sub>2</sub>

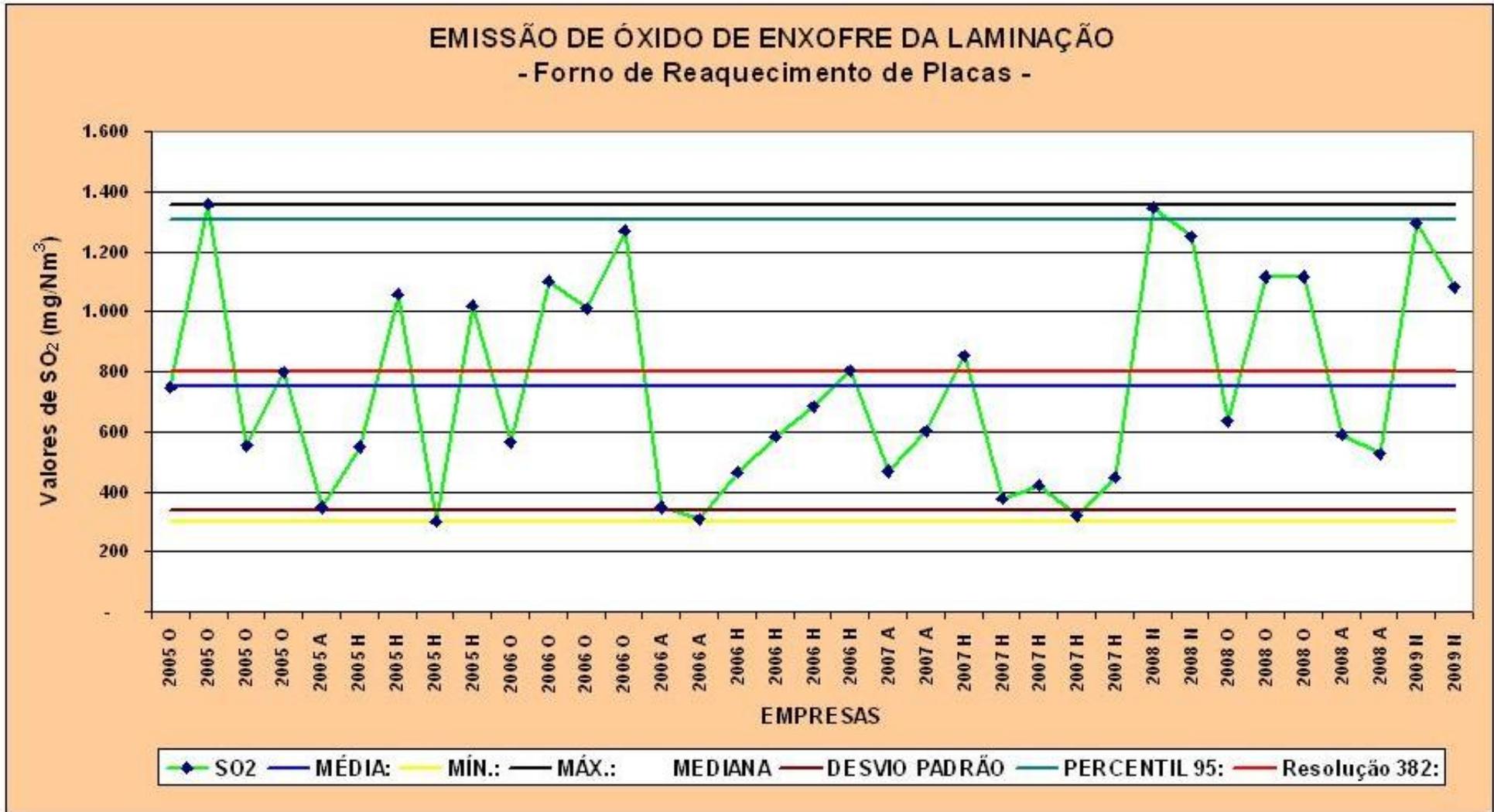


Figura 17 – Gráfico valores de emissão de SO<sub>2</sub> da unidade de laminação das empresas “A”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”

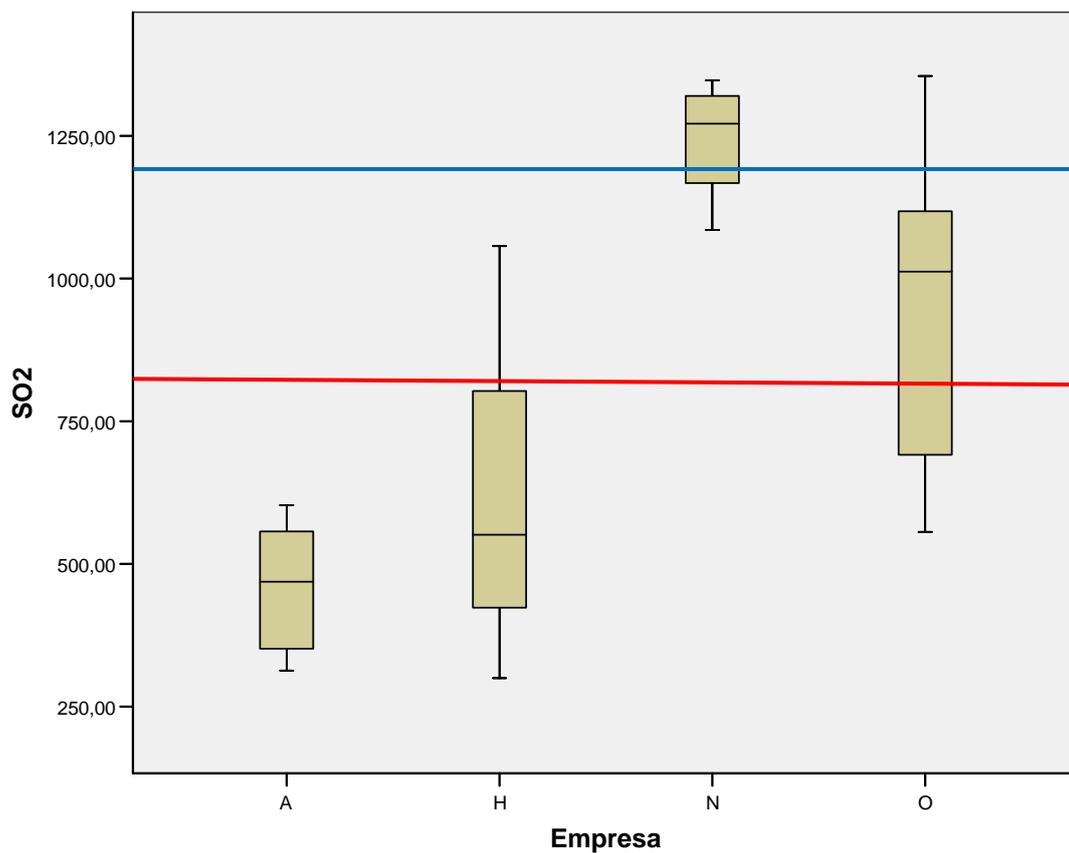


Figura 18 – Gráfico em caixa - emissão de  $\text{SO}_2$  - unidade de laminação das empresas “A”, “H”, “N” e “O”

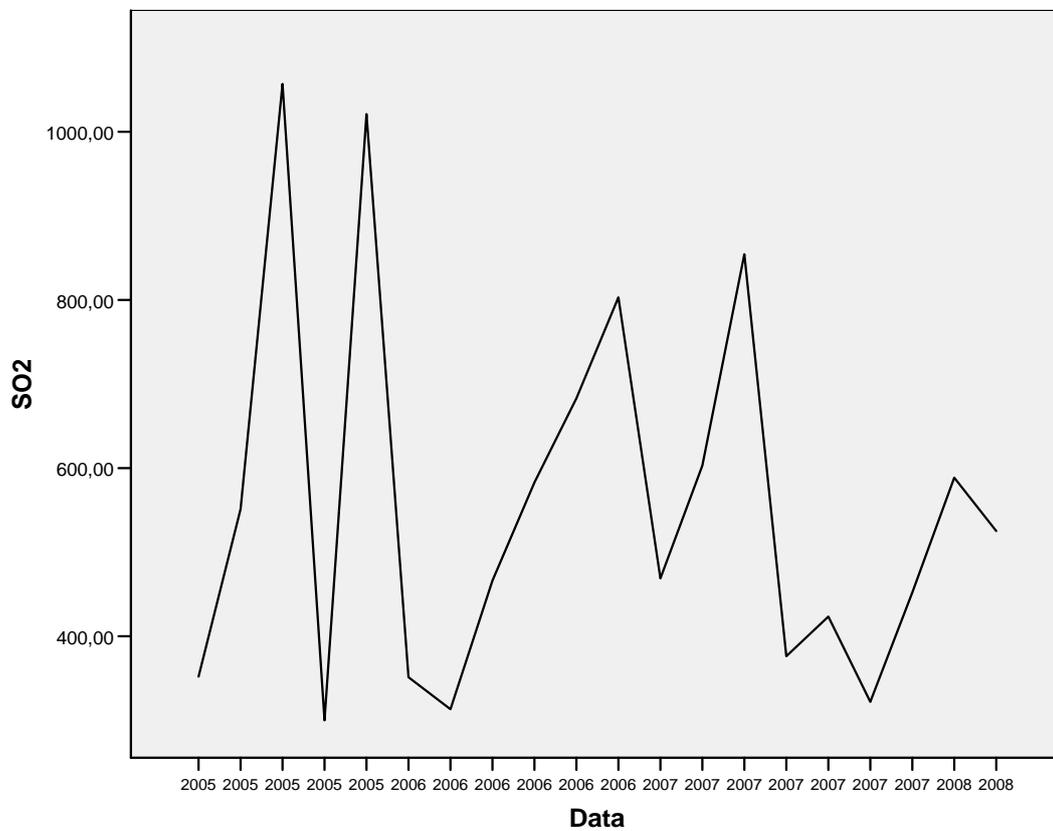


Figura 19 – Gráfico de sequência temporal - emissão  $\text{SO}_2$  da unidade de laminação das empresas A e H.

Pode-se observar nas figuras 17 e 18 que as empresas “N” e “O” apresentaram os maiores níveis de emissão e que as empresas “A” e “H” apresentam a maior porcentagem de seus valores atendendo a resolução CONAMA 382/2006.

Apesar da mediana das observações da empresa “N” estar acima do intervalo interquartil das observações da empresa “O”, os dados das duas empresas foram reunidas numa só devido ao número pequeno de observações (4) da empresa N. Ressalta-se ainda, com base na observação do gráfico da figura 19, que os dados de emissão das empresas, exceto a “N”, oscilam em torno de 1000 mg/Nm<sup>3</sup>. Para estabelecer o padrão de emissão foram utilizados os dados das empresas “A” e “H”, cujo percentil 95 correspondeu a 1021 mg/Nm<sup>3</sup>, considerando 20 observações e a metodologia acordada.

Ao analisar o histograma da figura 20, verifica-se que o mesmo apresenta classes vazias, pois quatro observações (todas da empresa “H”), situaram-se distante das demais. Caso essas observações sejam retiradas da análise, o percentil 95 passa a corresponder a 809 mg/Nm<sup>3</sup>, ou seja, um padrão próximo ao padrão de referência (linha vermelha no gráfico da figura 18).

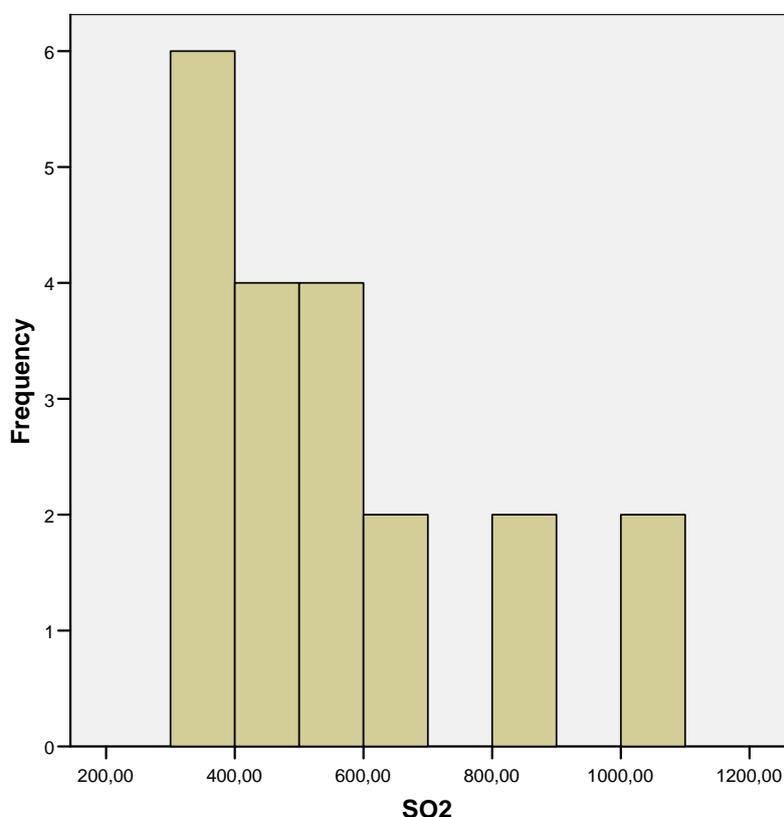


Figura 20 – Gráfico em histograma das emissões de SO<sub>2</sub> da unidade de laminação das empresas “A”, “H” e “O”.

Todavia, geralmente em uma usina integrada, os fornos de reaquecimento de placas utilizam como combustíveis os próprios gases siderúrgicos gerados internamente nas Coquearias, Altos-fornos e Aciarias, o que reduz os impactos ambientais através de reaproveitamento de combustíveis e maior eficiência energética.

A emissão de dióxido de enxofre na chaminé do forno de reaquecimento de placas é influenciada, diretamente, pelo teor de enxofre do Gás de Coqueria (GCO) (que provém do carvão mineral) e pela proporção utilizada com outros gases siderúrgicos Gás de Alto-Forno (GAF) e Gás de Aciaria (GAC) ou óleo combustível.

Como a aquisição de carvão depende do que está disponível no mercado, não é possível o uso somente de carvões com baixo teor de enxofre, ocorrendo assim uma conseqüente variação na emissão de dióxido de enxofre nos processos que consomem GCO.

Ressalta-se ainda que existe tendência de aumento do teor de enxofre no carvão, devido ao esgotamento das reservas atuais de carvão com melhor qualidade.

Como normalmente o Gás de Coqueria não é dessulfurado, as emissões de SO<sub>2</sub> nos fornos de reaquecimento de placas são atualmente maiores que o limite de emissão estabelecido na Resolução 382/2006. Ressalta-se que o controle das emissões através da dessulfuração do gás de coqueria somente é recomendado, mesmo a nível internacional, quando há problemas de violação aos padrões de qualidade do ar.

Outra solução é a utilização de gás natural (GN) em substituição ao gás de coqueria para redução das emissões de SO<sub>2</sub>. Entretanto, nem todas as plantas siderúrgicas possuem acesso a este gás, além de existir problemas no fornecimento do mesmo.

Cabe ressaltar que mesmo com o consumo de GN nestes fornos, o COG continuará a ser gerado. Caso não utilizado nos fornos, o COG será queimado nos flares sem controle ambiental e sem recuperação do poder energético deste gás, emitindo o mesmo SO<sub>2</sub> contido na emissão dos fornos.

Uma das formas de avaliar as emissões de SO<sub>2</sub>, além de monitoramento das fontes, é através de balanço de massa considerando o teor de enxofre nos combustíveis usados.

Os cálculos abaixo mostram a previsão de emissões de SO<sub>2</sub> considerando o uso, nos fornos de reaquecimento, de um mix de gases siderúrgicos (GCO/GAF/GAC) e óleo:

---

Premissas:

Teor de H<sub>2</sub>S no gás de coqueria: 5,1 mg/m<sup>3</sup> (aproximadamente 0,3%)

Consumo de gases no forno:

- COG – 6.675,2 Nm<sup>3</sup>/h
- GAF – 868,0 Nm<sup>3</sup>/h
- Óleo combustível 2A – 2,73 t/h

Este mix de combustível médio consumido nos fornos resulta em uma emissão estequiométrica de 1.338,6 mg/Nm<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub>.

Considerando ainda as emissões em outros processos como coquerias, sinterização e caldeiras, existe um potencial de redução global de 73% na carga de emissões de SO<sub>2</sub> caso seja adotada a proposta deste subgrupo.

Logo, considerando os erros e variações nos cálculos apresentados e os esforços para reduzir as emissões, propõe-se um padrão de 1.200 mg/Nm<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> a 7% de oxigênio de referência para os fornos de reaquecimento de placas (linha azul no gráfico da figura 18).

Finalmente, embora o valor proposto esteja 50% acima em relação ao valor de referência da resolução CONAMA 382, comparado ao padrão legal ainda vigente em Minas Gerais para emissões de SO<sub>2</sub>, 2.500 mg/Nm<sup>3</sup> (fontes não listadas da DN COPAM 01/1992 [8]), representa um potencial de redução de 52% na carga de emissões de SO<sub>2</sub> nos fornos de reaquecimento de placas.

---

### 3.7 – Central Termelétrica – Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos – MP

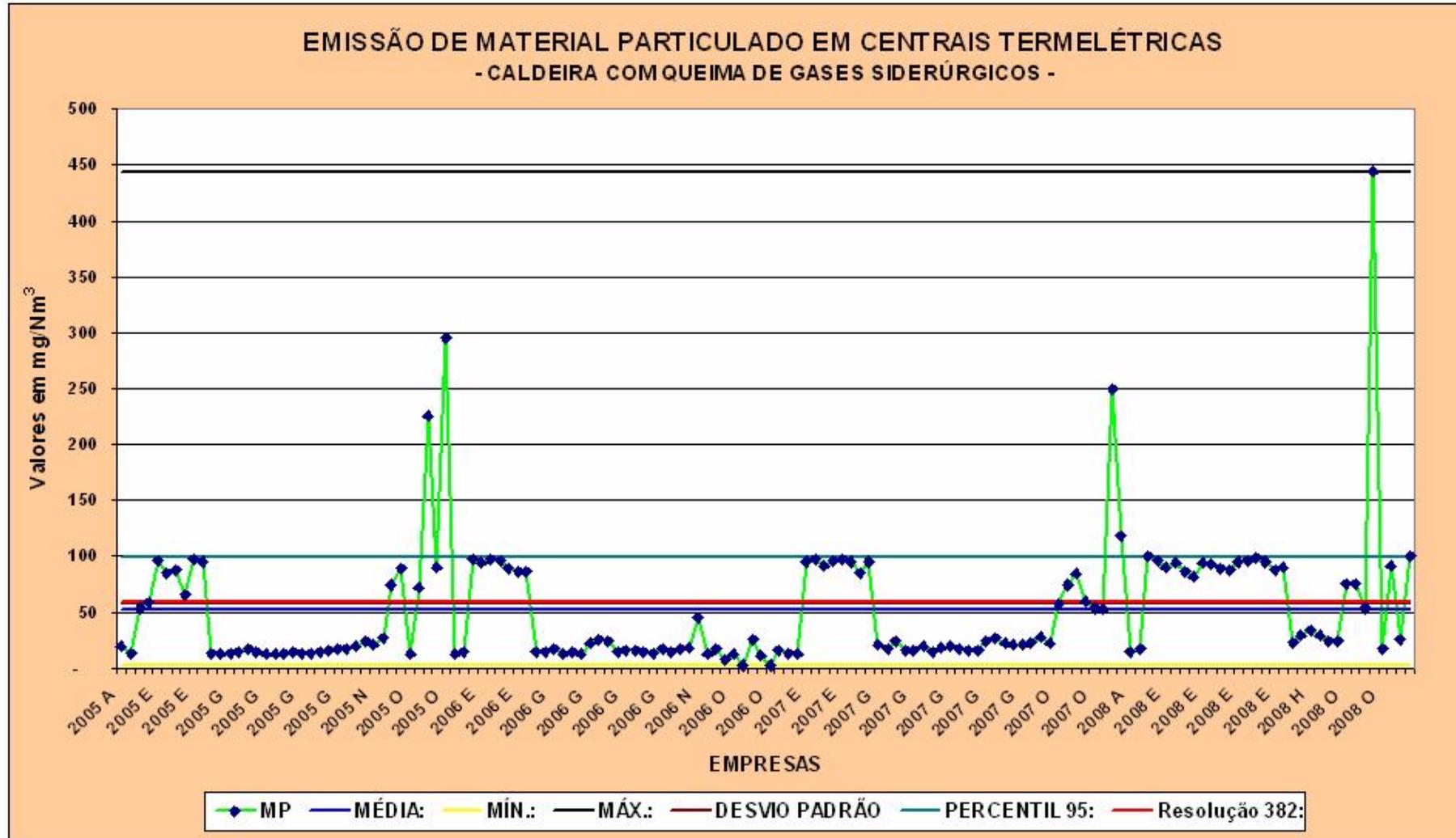


Figura 20 – Gráfico dos valores de emissão de MP da caldeira com queima de gases siderúrgicos das empresas “A”, “E”, “G”, “N” e “O”

### 3.7.1 – Com outliers maiores que 200 de todas as empresas

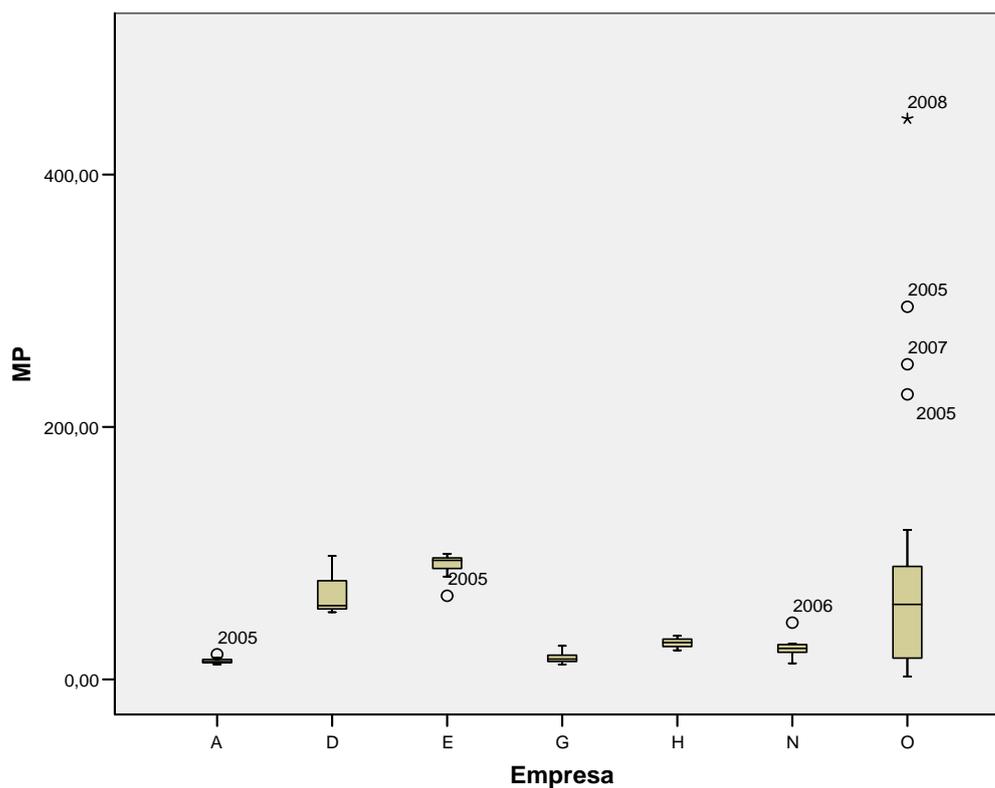


Figura 21 – Gráfico em caixa emissão MP caldeira centrais termelétricas das empresas “A”, “D”, “E”, “G”, “H”, “N” e “O”

### 3.7.2 – MP centrais termelétricas $\leq 200$ das empresas, exceto a “E”

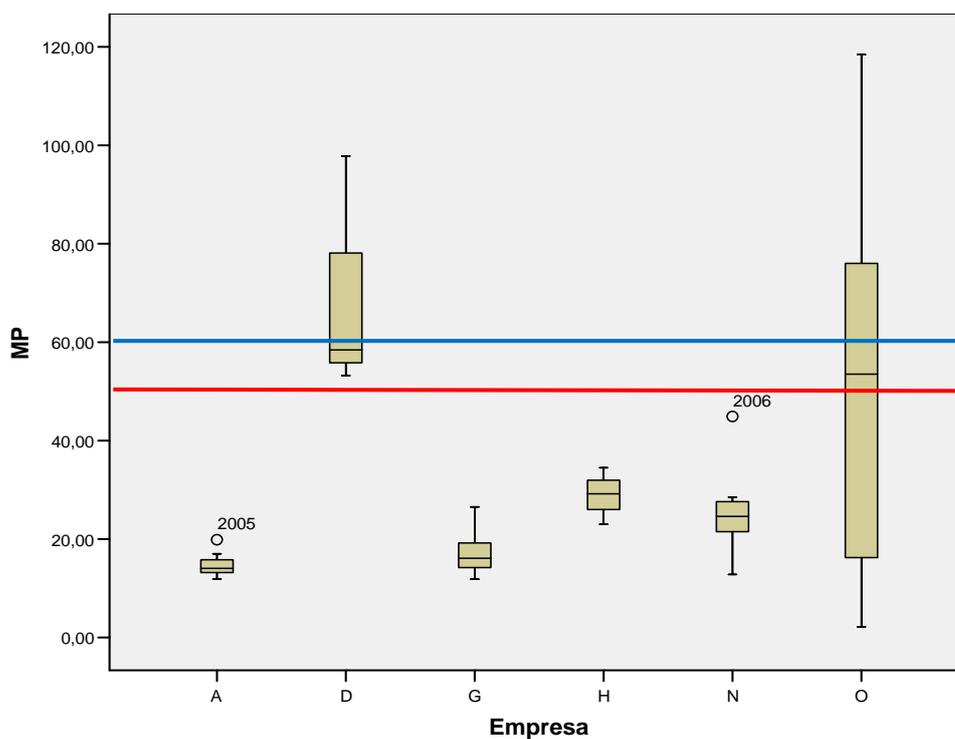


Figura 22 – Gráfico em caixa emissão MP caldeiras centrais termelétricas das empresas, exceto a “E”.

As figuras 20 e 21 mostram que as empresas “D”, “E” e “O” apresentaram os maiores níveis de emissão.

A empresa “E” apresentou os maiores níveis em 36 medições, com média, 91,9 e desvio padrão de 6,44. As demais empresas (104 medições) tiveram média de 28,3 e desvio padrão de 24,41. A empresa “O” apresentou a maior variação para as observações de material particulado. O percentil 95 das empresas, exceto a “E” foi de 88,4.

Por tratar-se de caso análogo aos fornos de combustão de gases de coqueria e aos fornos de reaquecimento da laminação, as mesmas considerações feitas anteriormente aplicam-se a esta fonte. Ou seja, como o potencial energético e o volume considerável de gases gerados na coqueria, alto forno e aciarias, são queimados nas centrais termelétricas, objetivando suprir grande parte das demandas térmicas das diversas unidades produtivas das siderúrgicas integradas, justifica-se um limite máximo de emissão 20% acima do padrão de referência (linha vermelha no gráfico da figura 22). Além disso, não há equipamento de controle de emissão para essa fonte.

Por isso, admitiu-se a conveniência da utilização do mesmo limite máximo de emissão proposto para coqueria e fornos de reaquecimento, 60 mg/Nm<sup>3</sup> (linha azul no gráfico da figura 22).

---

### 3.8 – Padrões propostos x padrões da Resolução CONAMA 382/2006.

O Quadro 3 apresenta uma síntese da proposição dos padrões de emissão de poluentes atmosféricos para as fontes fixas existentes da siderurgia, os quais diferirem dos padrões da Resolução CONAMA 382/2006.

QUADRO 3 – COMPARAÇÃO DOS PADRÕES PROPOSTOS DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PARA FONTES FIXAS EXISTENTES DA SIDERURGIA COM OS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA 382/2006

Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	Poluente	PADRÃO CONAMA 382	PADRÃO PROPOSTO PELO SUBGRUPO	Percentual acima do PADRÃO CONAMA 382	Sistemas de controle
Alto-forno a Coque	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	MP	40	50	25%	Lavador de gases e Filtro de mangas
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	MP	70	90	30%	Precipitador eletrostático
Sinterização	Sistema Secundário de Despoeiramento	MP	70	90	30%	Precipitador eletrostático ou filtro de mangas
Coqueria	Câmara de Combustão dos Fornos de Coque	MP	50	60	20%	Controle de Combustão e Boas práticas Operacionais
Central Termelétrica	Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	MP	50	60	20%	Controle de Combustão e Boas práticas Operacionais
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	MP	50	60	20%	Controle de Combustão e Boas práticas Operacionais
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	SO <sub>2</sub>	800	1200	50%	Controle de Combustão e Boas práticas Operacionais

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca e no teor de O<sub>2</sub> explicitado. NA = Não Aplicável.

Observando-se o Quadro 3, vale destacar que, as fontes de emissão cujo controle é feito pelo processo de combustão e boas práticas operacionais, ou seja, que não utilizam equipamento de controle e somente chaminé para exaustão dos gases, exibem entre si os mesmos padrões de emissão para material particulado. Tal fato pode ser consequência da queima de gases siderúrgicos (GOC, GAF e GAC) para geração de energia térmica nessas unidades produtivas, conforme já explicado nos itens anteriores.

## 4 – CONCLUSÃO

Diante do exposto, o subgrupo de siderurgia propõe ao GT do CONAMA os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes existentes das unidades produtivas de siderurgia mostrados no Quadro 4.

QUADRO 4 – PROPOSTA DE PADRÕES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS NA SIDERURGIA INTEGRADA E SEMI-INTEGRADA E USINAS DE PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

PROPOSTA SUBGRUPO SIDERURGIA					
Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	MP <sup>(1)</sup>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> <sup>(1)</sup>	% O <sub>2</sub>
Coqueria	Sistema de Despoeiramento do Desenformamento	40	NA	NA	NA
	Câmara de Combustão dos Fornos de Coque	60	800	700	7%
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	90	600	700	NA
	Sistema Secundário de Despoeiramento	90	NA	NA	
Alto-forno a Coque	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	50	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	40	NA	NA	
Alto-Forno a Carvão Vegetal	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	50	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	50	NA	NA	
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	80	NA	NA	
	Sistema Secundário de Despoeiramento	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento dos Fornos de Cal	100	NA	470	
Aciaria Elétrica	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento (2)	≤ 50 t/c:50	NA	NA	NA
		> 50 t/c:40			
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	60	1200	700	7%
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	70	700	700	NA
Central Termelétrica	Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	60	600	350	5%

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca e no teor de O<sub>2</sub> explicitado. (2) t/c = toneladas de aço/corrida. NA = Não Aplicável.

Propõe-se ainda que o Anexo da Resolução CONAMA para fontes existentes para a siderurgia tenha a mesma redação e formatação do Anexo XIII da resolução CONAMA 382/2006, com exclusão do item 5, destacado abaixo:

*5. “O monitoramento das emissões das Câmaras de Combustão dos Fornos de Coque deverá ser feito na data da publicação desta Resolução, com frequência quadrimestral e durante três anos, a partir do ano de 2007, com envio dos resultados e do relatório das medições ao órgão ambiental licenciador.”*

---

**BIBLIOGRAFIA**

1. BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 382 de 2 janeiro de 2007.** Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.
  2. Instituto Aço Brasil. <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/index.asp>. Acesso em junho 2010.
  3. SOARES, José Francisco; SIQUEIRA, Arminda Lúcia. **Introdução à estatística médica.** Belo Horizonte: UFMG, 1999. Departamento de Estatística – UFMG.
  4. UNEP - **International Iron and Steel Institute and United Nations Environment Programme** – Industry and Environment. Technical Report nº 38; Steel Industry and Environment. Technical and Management Issues. 1997.
  5. USEPA – **Office of Air Quality Planning and Standards Resarch – EPA – 453/R-01-005. January 2001.** Final Report. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP) for Integrated Iron and Steel Plants Background Information for Proposed Standards.
  6. Grauer, Andréas. **Padrões de Emissão Atmosférica da Alemanha** – TA Luft 2002.
  7. EPA - **Fabric Filter Operation Review - Self-Instructional Manual for APTI Course SI: 412A** - Second edition
  8. MINAS GERAIS. **Conselho de Política Ambiental. Deliberação normativa nº 01, de 24 de fevereiro de 1992.** Estabelece normas e padrões para emissões de poluentes na atmosfera e dá outras providências. In: FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Licenciamento ambiental: coletânea da legislação. 3 ed. Belo Horizonte: FEAM, 2002.
-