



# MÉTODOS E AÇÕES APLICADOS AOS FORNOS DE COQUE PARA REDUZIR AS EMISSÕES DE PARTICULADOS NAS CHAMINÉS<sup>1</sup>

Giulliany Nardoto Moraes<sup>2</sup>

Joelma Mian Rabello<sup>3</sup>

Jonielson Tiengo<sup>4</sup>

Luciano Fanchiotti Bobbio<sup>5</sup>

Nilson Luiz Biccas<sup>6</sup>

Viviana Possamai Della Sagrillo<sup>7</sup>

## Resumo

No ano de 2009 foi observado a elevação dos níveis de emissões de particulados nas chaminés da coqueria, sendo necessárias ações visando à redução das mesmas. O objetivo deste trabalho é apresentar os métodos utilizados para identificação das causas e as ações corretivas tendo como resultado a redução dessas emissões na coqueria da ArcelorMittal Tubarão.

**Palavras-chave:** Redução de emissão; Emissão de particulado; Chaminé.

## COKE OVEN ACTION PLAN AND METHODS TO REDUCE STACK PARTICULATE EMISSION

## Abstract

In 2009, it was observed an increase in the in the chimney level of particulates emission, being necessary actions to reduce them. The aim of this paper is to present the methods used to identify the causes and corrective actions resulting on the reduction of these emissions on the coke plant of ArcelorMittal Tubarão.

**Key words:** Reduce of emissions; Emissions of particulates; Chimney.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira de Produção em Metalurgia e Materiais – ArcelorMittal Tubarão.

<sup>3</sup> Engenheira Mecânica – ArcelorMittal Tubarão.

<sup>4</sup> Bacharel em Ciências Econômicas – ArcelorMittal Tubarão.

<sup>5</sup> Engenheiro de Produção – ArcelorMittal Tubarão.

<sup>6</sup> Bacharel em Ciências Contábeis – ArcelorMittal Tubarão.

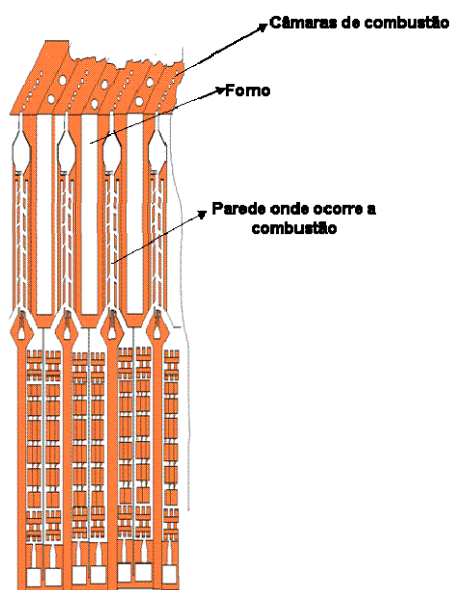
<sup>7</sup> Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais - Professora Pesquisadora da Coordenadoria de Metalurgia Instituto Federal do Espírito Santo - IFES



## 1 INTRODUÇÃO

O controle das emissões geradas pelo processo de coqueificação é um dos maiores desafios da indústria siderúrgica. As emissões de processo de coqueificação podem ser classificadas pela sua origem, sendo assim, tem-se: Emissão da chaminé, emissão no enforamento, emissão no desenforamento, emissão por abertura indevida do tubo de ascensão, vazamento de portas, dentre outros. O presente trabalho tem como foco as emissões da chaminé. Para melhor entender as causas das emissões da chaminé será feita a seguir uma breve explanação sobre os fornos de coque e seu sistema de aquecimento.

Fornos de coque são constituídos, basicamente, de tijolos refratários com amarração metálica. Um conjunto de fornos de coque constitui uma bateria. Entre os fornos de coque tem-se a parede de combustão, também constituída de tijolo refratário. A Figura 1 esboça o esquema da parede de combustão e do forno.



**Figura 1:** Desenho esquemático da parede de combustão e do forno.

A parede de combustão é responsável pelo aquecimento dos fornos de coque. Este aquecimento pode ser feito com gás de coqueria (COG) ou misto (MG) mistura do gás de alto forno e de coqueria. “O ar para combustão é admitido através da tiragem natural da chaminé (160 m), passando através das caixas de fumaça e regeneradores onde é pré-aquecido”.<sup>(1)</sup>

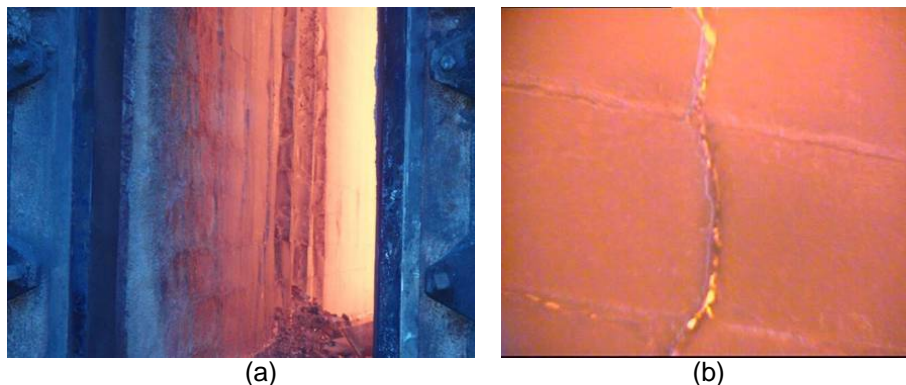
“Durante a combustão das câmaras do lado coque, as câmaras de combustão do lado desenforador estão recebendo a fumaça gerada desta combustão e vice-versa. A fumaça resultante da queima, passa através de um canal horizontal superior no forno, sendo succionado pelas câmaras do lado em sucção, passando através dos regeneradores para troca de calor, caixas de fumaça, canais longitudinais de fumaça, canal principal e chaminé”.<sup>(1)</sup> A fumaça formada pelos gases resultantes da combustão do COG ou MG nas baterias é constituída principalmente por nitrogênio (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O), compostos de enxofre (SO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado.

As emissões visíveis nas chaminés da coqueria ocorrem em função de:

- passagem de gás COG do forno para parede de combustão (câmara);

- combustão inadequada; e
- problemas operacionais na caldeira de amônia.

A passagem de gás COG do forno para parede de combustão (câmara), ocorre em função da presença de alguma avaria na parede do forno, como: trinca passante, furo passante ou até mesmo falta de um tijolo. O gás produzido durante a coqueificação passa para a parede de combustão provocando emissão na chaminé. As Figuras 2 (a) e (b) ilustram exemplos de avarias nas paredes dos fornos de coqueria.



**Figura 2 (a) e (b):** (a) Desgaste excessivo na parede do forno. (b) Trinca passante na parede do forno.

A combustão inadequada pode ser provocada por excesso de gás ou de ar para o aquecimento dos fornos. Neste caso, faz-se o ajuste de combustão das baterias de fornos e/ou inspeção no sistema de aquecimento para constatar se não existe nenhum problema nos pratos, nas tampas e nos quadrantes (válvula borboleta) das caixas de fumaça, tornando a combustão inadequada em determinada parede e causando emissão na chaminé.

Os problemas operacionais na caldeira de amônia que acarretam emissão na chaminé são:

- excesso de umidade no vapor de amônia devido à temperatura alta (temperaturas entre 78°C e 98°C) nos trocadores de calor do topo das colunas de destilação;
- Falta de ar quando se opera somente com a coluna de destilação de amônia sem adição de soda, uma vez que esta coluna trabalha com água com maior quantidade de amônia (água da lavagem do gás); e
- Quando se opera com as duas colunas de destilação, ou seja, uma com soda e a outra sem soda, e a proporção ar/amônia esta inadequada.

A crise econômica ocorrida em 2008, a qual obrigou uma redução brusca no ritmo operacional (redução da produção diária de coque) das baterias de coque, aliado a crise no abastecimento de carvões (falta de opção na compra de carvões) geraram instabilidade operacional nas baterias e afetaram a estrutura dos fornos de coque.

Em 2009, foram observados os efeitos do ano de 2008, através da elevação das emissões visíveis nas chaminés da coqueria da ArcelorMittal Tubarão, sendo necessário ações para controle e redução das mesmas. O objetivo deste trabalho é apresentar os métodos e ações aplicadas aos fornos de coque para reduzir as emissões de particulados nas chaminés.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Análise dos Fumos

As chaminés possuem equipamento de análise dos fumos, denominado opacímetro. Este equipamento analisa 24 horas o oxigênio (O<sub>2</sub>), compostos de enxofre (SO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado que são emitidos pela chaminé e os resultados são transmitidos para o supervisor da sala de controle das baterias e retransmitido para o computador de processo (PROCOM), o qual gera telas para acompanhamento com essa informações. As telas geradas passam informação de particulado no enforamento por série enforada (As baterias possuem 49 fornos, os quais são desenforados/enforados num intervalo de cinco em cinco fornos. Ex.: Série 1 – Fornos 1,6,11,16,21,26,31,36,41 e 46) comparativo de particulado por forno por bateria e monitoramento do particulado no enforamento por forno. A Figura 3 apresenta as telas geradas no computador de processo.

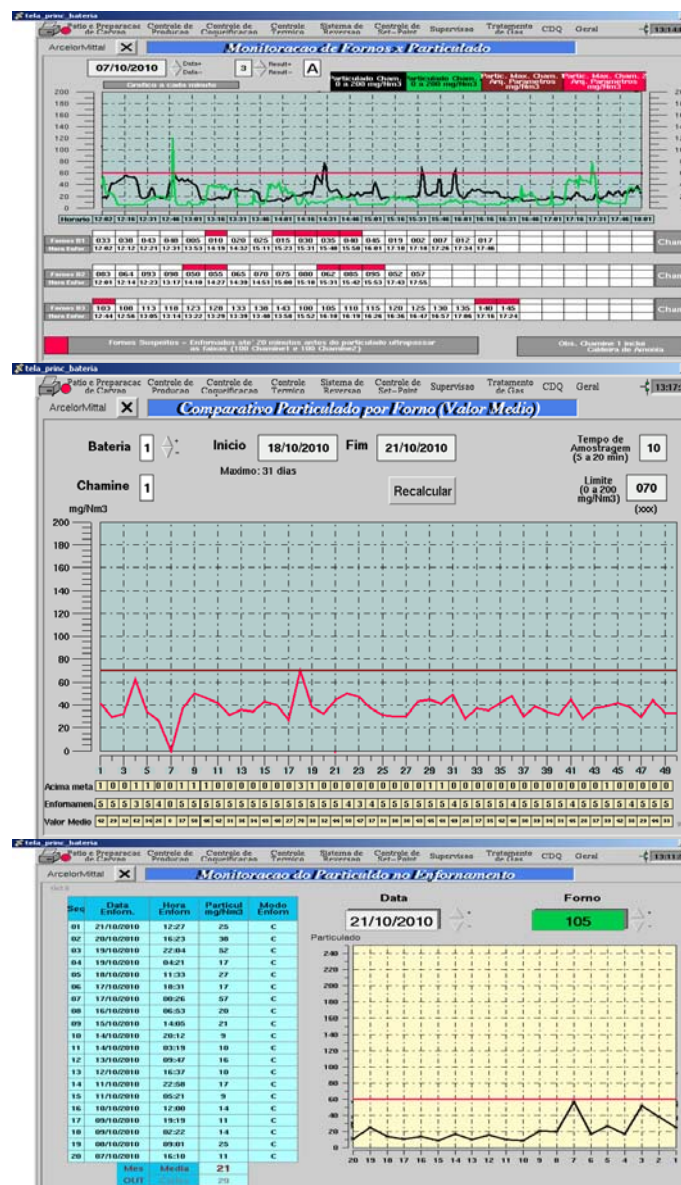


Figura 3: Telas do computador de processo.

Os operadores da sala de controle e do controle térmico das baterias monitoram essas informações diariamente. Caso ocorra elevação do particulado, momentaneamente, para valores superiores a  $60 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ , meta de controle da ArcelorMittal Tubarão definida em conjunto com o IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente), os operadores devem inspecionar o sistema de combustão da referida bateria, as paredes de combustão do forno recém enforado e o forno internamente após o desenforamento, visando encontrar a causa da emissão para que se possa ser tomado as ações corretivas.

A média diária das emissões das chaminés também é controlada pelas equipes visando manter as emissões abaixo de  $60 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ . A Figura 4 mostra tela gerada no computador de processo com acompanhamento diário.

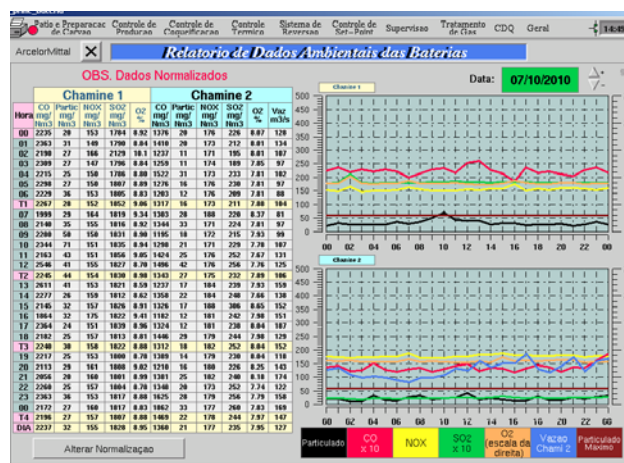


Figura 4: Tela do computador de processo.

## 2.2 Monitoramento Visual

A empresa possui câmeras instaladas em pontos estratégicos que monitoram e registram as emissões atmosféricas das áreas. A Figura 5 mostra um exemplo de emissão registrada pelas câmeras.



Figura 5: Registro de emissão capturada pela câmera.

A Figura 5 é um exemplo de emissão causada pelos fornos de coque, pois apresenta coloração escura.

Quando a emissão apresenta coloração clara pode ser uma emissão acarretada pela caldeira de combustão de amônia, como mostra a Figura 6. Vale registrar que


esse tipo de emissão foi eliminado com a implantação do sistema Claus (sistema de dessulfuração de amônia) em novembro de 2010.



**Figura 6:** Registro de emissão capturada pela câmera.

É válido ressaltar que a coqueria da ArcelorMittal Tubarão possui duas chaminés: chaminé 1 recebe os fumos das baterias 1 e 2 e a chaminé 2 recebe os fumos da bateria 3.

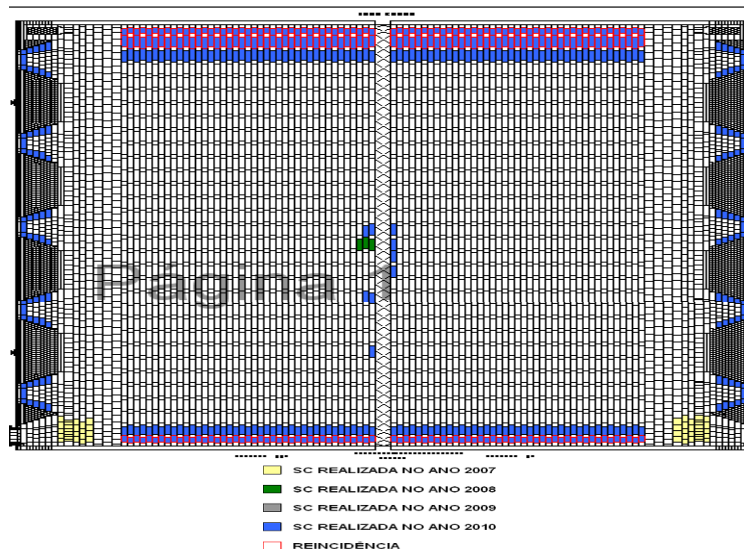
Toda emissão registrada é tratada pelo departamento de meio ambiente e encaminhada para as áreas responsáveis diariamente através de um relatório. A área ao receber este relatório deve identificar a causa da emissão e gerar um plano de ação para a correção do problema. As causas da emissão podem ser levantadas utilizando-se as telas geradas pelo computador de processo. A Figura 7 mostra modelo de relatório utilizado pelo departamento de meio ambiente.

| ArcelorMittal   |   | Monitoramento Visual  |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
|---|---|---|--|------------------|--|-------------------|------------------------------|-------|---|----------------|-----------------|-------|-----------------|----------|--------------|
| Local: Coqueria   | Tipo de Emissão: No enfornamento  |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
| Data: 28/09/2009  | ArcelorMittal   |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
| Horário: 16:07 h  | Câmera: Gasômetro - 1 minuto  |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
|  |   | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Emissão Fugitiva</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Origem da Emissão</td> <td>No enfornamento do forno 42.</td> </tr> <tr> <td>Causa</td> <td>Passagem da parede do forno para a câmara de combustão e vazamento na câmara 03, 16, 18, 19, 30 e 32.</td> </tr> <tr> <td>Ação Corretiva</td> <td>Solda cerâmica.</td> </tr> <tr> <td>Prazo</td> <td>Conforme plano.</td> </tr> <tr> <td>Anomalia</td> <td>200910050100</td> </tr> </tbody> </table> |  | Emissão Fugitiva |  | Origem da Emissão | No enfornamento do forno 42. | Causa | Passagem da parede do forno para a câmara de combustão e vazamento na câmara 03, 16, 18, 19, 30 e 32. | Ação Corretiva | Solda cerâmica. | Prazo | Conforme plano. | Anomalia | 200910050100 |
| Emissão Fugitiva  |   |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
| Origem da Emissão   | No enfornamento do forno 42.  |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
| Causa   | Passagem da parede do forno para a câmara de combustão e vazamento na câmara 03, 16, 18, 19, 30 e 32. |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
| Ação Corretiva  | Solda cerâmica.   |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
| Prazo   | Conforme plano.   |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |
| Anomalia  | 200910050100  |   |  |                  |  |                   |                              |       |   |                |                 |       |                 |          |              |

**Figura 7:** Modelo de relatório de monitoramento visual.

### 2.3 Inspeção das Paredes dos Fornos

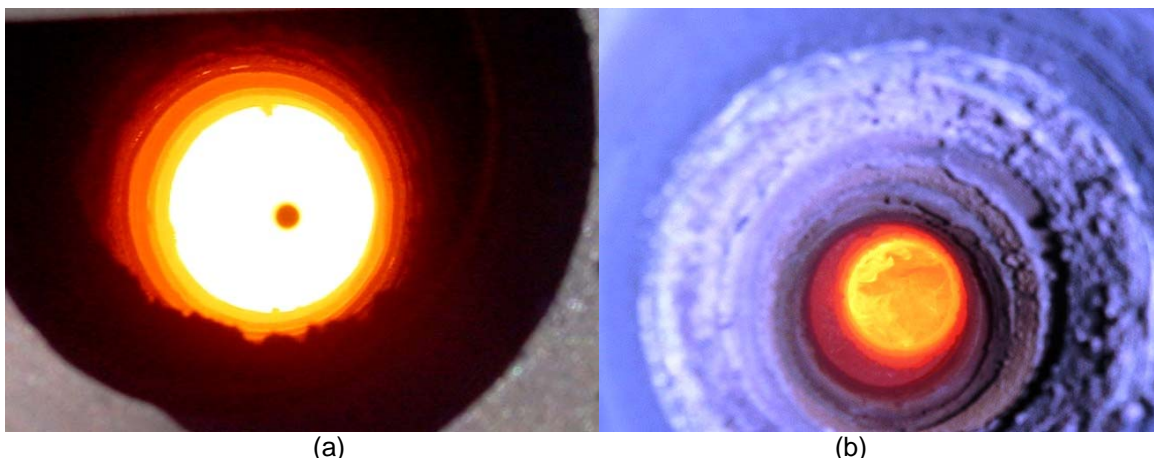
Existe um programa de inspeção anual de todos os fornos das baterias, a qual é registrada no computador, desta forma tem-se um mapeamento da situação das paredes dos fornos. A Figura 8 mostra tela do programa utilizado para registro das inspeções e serviços refratários executados nos fornos.



**Figura 8:** Tela do programa de registro de inspeção das paredes dos fornos.

## 2.4 Inspeção de Vazamento das Câmaras de Combustão

A cada trimestre realiza-se a inspeção de todas as câmaras de combustão das paredes dos fornos, onde se registra os vazamentos, identificando a posição do vazamento (região superior, inferior ou média da parede) e a intensidade do vazamento (pequeno, médio ou grande). A Figura 9 (a) ilustra câmara de combustão sem vazamento e a Figura 9 (b) ilustra câmara de combustão com vazamento.



**Figuras 9 (a) e (b):** (a) Câmara de combustão apagada sem vazamento, (b) Câmara de combustão apagada com vazamento.

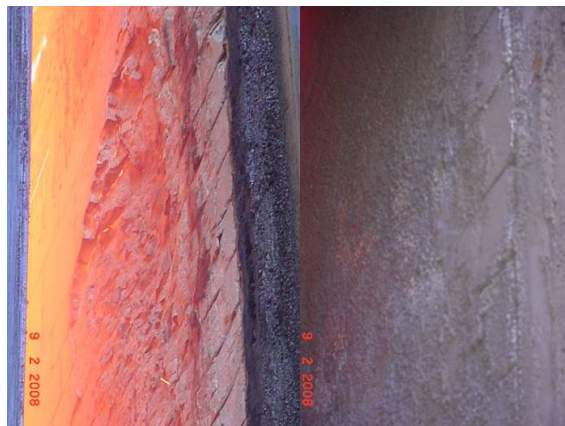
## 2.5 Definição dos Fornos

Tendo em mãos as informações dos itens 2.1 e 2.2, elaboram-se uma lista de fornos com maior incidência de emissões e relacionam-se essas informações com uma lista de fornos com maior índice de vazamento, a qual é elaborada com as informações dos itens 2.3 e 2.4. Ao relacionar as informações gera-se uma lista de fornos com um ranking de prioridade para execução de serviço refratário.



## 2.6 Ações Corretivas/Preventivas

Visando a redução das emissões visíveis nas chaminés das coqueiras e a preservação das baterias de fornos de coque, faz-se solda cerâmica para correção das avarias nas paredes dos fornos. As Figuras 10 (a) e (b) apresentam parede com avaria e parede reparada com solda cerâmica respectivamente.



(a)

(b)

**Figuras 10 (a) e (b):** (a) Parede do forno com avaria, (b) Parede do forno após reparo com solda cerâmica.

Além do serviço refratário faz-se também limpeza no sistema de combustão dos fornos (flues, sole flue, caixa de fumaça, canal de fumaça, canal de gás e regeneradores) visando melhor ajuste e reduzindo o impacto nas emissões em função de ajuste de combustão das paredes de aquecimento. As Figuras 11 (a) e (b) ilustram regenerador antes e após limpeza respectivamente.



(a)

(b)

**Figuras 11 (a) e (b):** (a) Regenerador antes da limpeza, (b) Regenerador após limpeza.

As Figuras 12 (a) e (b) ilustram canal de fumaça antes e após a limpeza respectivamente.



Figuras 12 (a) e (b): (a) Canal de fumaça antes da limpeza, (b) Canal de fumaça após limpeza.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as etapas apresentadas; monitoramento, análise e manutenção; exigem equipe especializada e materiais especiais de custo elevado – alto investimento. O número de emissões visíveis nas chaminés 1 e 2 reduziram de 462 emissões em janeiro de 2010 para 93 emissões em dezembro de 2010. A Figura 13 mostra o gráfico de acompanhamento das emissões visíveis da coqueria.

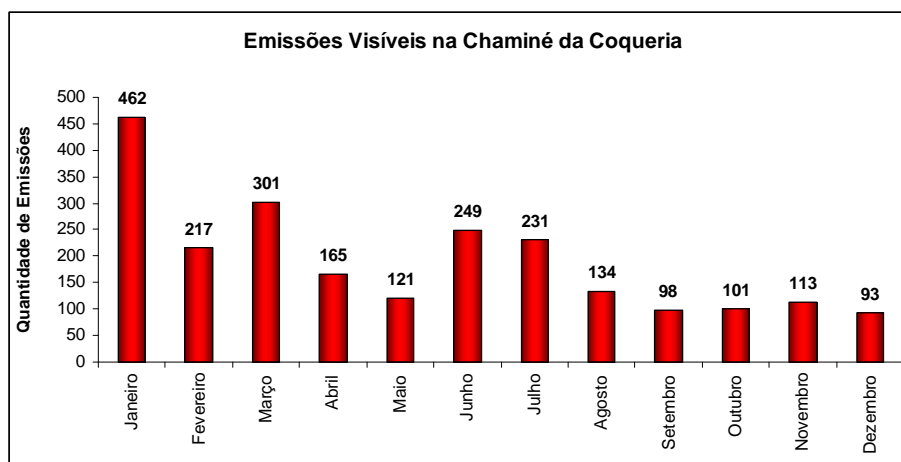
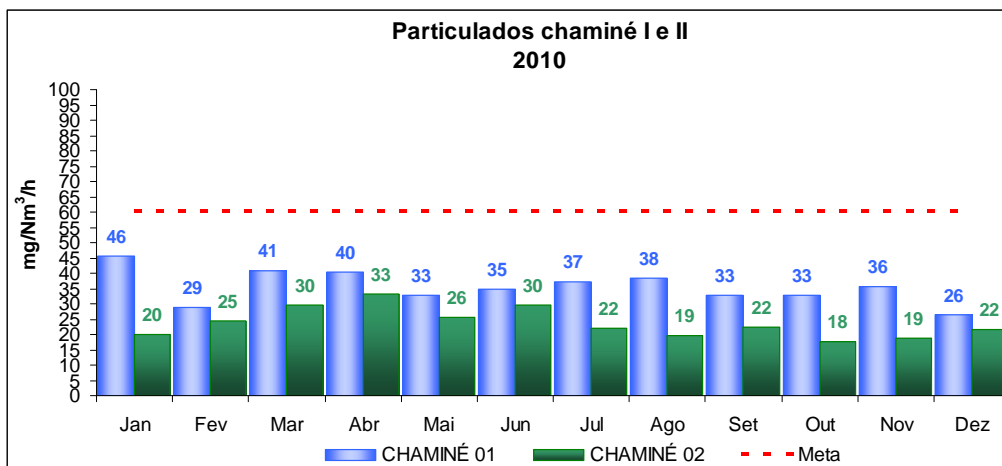


Figura 13: Gráfico de acompanhamento anual de emissões visíveis na coqueria da ArcelorMittal Tubarão.

A Figura 14 mostra gráfico de acompanhamento da média diária do particulado emitido nas chaminés 1 e 2.



**Figura 14:** Gráfico de acompanhamento anual de emissões visíveis na coqueria da ArcelorMittal Tubarão.

## 4 CONCLUSÃO

O controle das emissões provenientes do processo de coqueificação exige grandes investimentos. Após início dos investimentos da coqueria da ArcelorMittal Tubarão, que levaram ao aumento no número de equipes de solda cerâmica com conseqüente aumento no número de fornos vazios para reparo cerâmico, reforma nos regeneradores dos fornos com problemas de temperatura com conseqüente melhora no ajuste da combustão, além da reforma geral de alguns fornos (o que engloba serviço de solda cerâmica, limpeza de flues, sole flue, caixa de fumaça e canal de gás e câmaras de combustão, dentre outras atividades mecânicas), usando a metodologia exposta no presente trabalho, a coqueria da ArcelorMittal Tubarão reduziu as emissões visíveis nas chaminés significativamente. O número de emissões visíveis saiu de 462 emissões em janeiro de 2010 para 93 emissões em dezembro de 2010. Essa mesma redução pode ser vista na média diária do particulado medido pelo opacímetro da chaminé 1, a qual saiu de 46 mg/Nm<sup>3</sup> para 26 mg/Nm<sup>3</sup>, ressaltando que a meta estabelecida pelo IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente) é de 60 mg/Nm<sup>3</sup>. A redução das emissões visíveis nas chaminés comprova que todo o investimento realizado pelo grupo apresentou resultados excelentes, não só para o meio ambiente, mas também para os fornos das baterias de coque, garantindo a preservação, o prolongamento da vida útil de seus equipamentos e um melhor controle da combustão das paredes de aquecimento dos fornos.

## REFERÊNCIAS

- MORAES, G.N. et al. Adequação da distribuição térmica da parede de combustão de um forno de coque após reforma do regenerador. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 40., 2010, Belo Horizonte, Brasil. *Anais...* São Paulo: ABM, 2010.