

APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA ACIARIA DA CST

Adilson Luiz Diesel ⁽¹⁾

Luciana Corrêa Magalhães ⁽²⁾

Resumo

O trabalho consistiu no estudo e identificação das principais variáveis do processo de produção de aço e do sistema de lavagem dos gases tipo venturi que poderiam influenciar as emissões de material particulado nas chaminés dos Convertedores LD da CST. Através de análise estatística das principais variáveis do sistema foi desenvolvido um modelo matemático que foi aplicado e proporcionou uma redução significativa das emissões atmosféricas dos convertedores. A partir da aplicação do modelo matemático foi possível conhecer adequadamente o processo e atuar no controle das variáveis que mais influenciavam os resultados dos monitores contínuos de material particulado, obtendo-se uma redução de mais de 30 % das emissões dos convertedores LD da Aciaria.

Palavras-chave: Variáveis; Modelo matemático; Material particulado.

APPLICATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR REDUCING AIR EMISSIONS IN THE CST'S STEELMAKING PLANT

Abstract

This paper describes the study and identification of the main variables of the gas scrubber (Venturi) system of CST's LD converters that influence the emissions of particulate matter measured continuously in the stacks. Using statistical analysis, a mathematical model was drawn up, with the main variables of any significance. This model brought about a control over the air emissions, following the tracking of the behavior of each significant variable. This made it possible to act on the causes, and as a consequence resulted in a reduction of over 30% in the LD Converters of CST'S steelmaking Plant air emissions..

Key-words: Variables; Mathematical model; Particulate matter.

I INTRODUÇÃO

Acompanhando o notável avanço tecnológico dos equipamentos e sistemas de monitoramento ambiental nos últimos anos, especialmente o monitoramento contínuo de emissões em chaminés (material particulado e gases), a Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST implantou em suas unidades produtivas um conjunto de monitores contínuos para melhorar o controle de suas emissões atmosféricas.

Em função da implantação destes monitores contínuos de material particulado e gases nas chaminés, o controle das emissões atmosféricas no Sistema de Lavagem dos Convertedores LD da Aciaria, que anteriormente só era realizado em campanhas de 6 em 6

meses, através de medições isocinéticas manuais, passou a ser realizado minuto a minuto, ou seja, "on line". Esta drástica mudança permitiu conhecer de forma muito mais consistente como possíveis modificações no processo de produção de aço, como manutenções ou simplesmente por uma sistemática operacional diferenciada, poderiam afetar as concentrações dos poluentes nas chaminés.

A instalação dos monitores contínuos de material particulado permitiu reduzir as emissões de material particulado e gases em toda companhia, com ganhos ambientais notáveis e redução significativa de custos.

No entanto, em determinadas unidades muitos questionamentos foram feitos em relação aos resultados dos monitores contínuos, e nestes casos, foi necessário comprovar que esta ferramenta de última geração de monitoramento ambiental poderia funcionar bem, tanto no controle ambiental como no controle do processo de operação.

⁽¹⁾ Eng^o Químico e Especialista Sênior em Engenharia Ambiental da CST

⁽²⁾ Eng^a Metalúrgica e Especialista em Engenharia Ambiental da CST

Neste trabalho, demonstra-se como foram comprovadas a eficiência e eficácia dos monitores contínuos de poluentes atmosféricos da CST, e como a utilização de ferramentas estatísticas e a aplicação de um modelo matemático, desenvolvido a partir da correlação entre os resultados dos monitores contínuos e as variáveis de processo e do sistema de controle ambiental, pode ser utilizado para reduzir emissões atmosféricas em chaminés.

2 OBJETIVOS E METODOLOGIA APLICADA

O objetivo principal do trabalho foi o de estudar e identificar as principais variáveis de processo na produção do aço e do sistema de lavagem de gases da Aciaria da CST, que poderiam influenciar os resultados de material particulado.

A metodologia utilizada para caracterizar o problema, definir as ações de planejamento, desenvolvimento, monitoramento, avaliação e as ações necessárias para solução do problema foi PDCA.

Em função do acompanhamento sistemático dos valores de material particulado obtidos pelos monitores contínuos instala-

dos nas chaminés dos Lavadores de Gases da Aciaria, observou-se uma grande variabilidade dos resultados. Esta variabilidade não podia ser explicada, pois não se conhecia quais eram as variáveis que provocavam este descontrole. Para identificar estas variáveis e sua influência foi proposta a realização de pesquisa, cujo desenvolvimento ocorreu em quatro etapas:

- Etapa 1: Identificação e definição das variáveis de processo e sistema de lavagem com influência nos resultados de material particulado;
- Etapa 2: Análise Estatística dos dados e desenvolvimento de modelo matemático;
- Etapa 3: Testes de campo com alterações nas variáveis de processo e do sistema de lavagem de gases;
- Etapa 4: Aplicabilidade e Consolidação do modelo matemático e acompanhamento dos resultados.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | PD |
|----|------------|---------|--------|--------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----|
| 1 | \$Date | \$Time | AT-405 | AT-404 | PT-22-1-2111 | FE-22-1-325 | FT-22-1-331 | ZT-22-1-849 | ZT-22-1-834 | TE-22-1-112 | PD |
| 2 | 23/02/2002 | 0:01:00 | 0 | 0 | -11,37 | 533,1 | 542,1 | 13,9 | 799,8 | 63,7 | |
| 3 | 23/02/2002 | 0:02:00 | 0 | 0 | -11,32 | 620,1 | 550,5 | 13,9 | 799,8 | 62,7 | |
| 4 | 23/02/2002 | 0:03:00 | 0 | 0 | -2,46 | 613,4 | 551,3 | 13,9 | 799,8 | 60,7 | |
| 5 | 23/02/2002 | 0:04:00 | 0 | 0 | 0,64 | 600,5 | 551,3 | 13,9 | 799,8 | 59,7 | |
| 6 | 23/02/2002 | 0:05:00 | 0 | 0 | -2,77 | 599 | 554,3 | 13,9 | 799,8 | 58,7 | |
| 7 | 23/02/2002 | 0:06:00 | 0 | 0 | -2,31 | 597,5 | 545,2 | 13,9 | 799,8 | 57,7 | |
| 8 | 23/02/2002 | 0:07:00 | 0 | 0 | -2,43 | 614,6 | 553 | 13,9 | 799,8 | 57,7 | |
| 9 | 23/02/2002 | 0:08:00 | 0 | 0 | -7,09 | 612,8 | 556 | 13,9 | 799,8 | 56,7 | |
| 10 | 23/02/2002 | 0:09:00 | 0 | 0 | -2,08 | 603,3 | 546,3 | 13,9 | 799,8 | 56,7 | |
| 11 | 23/02/2002 | 0:10:00 | 0 | 0 | -1,72 | 599,6 | 553,3 | 13,9 | 799,8 | 56,7 | |
| 12 | 23/02/2002 | 0:11:00 | 0 | 0 | -2,04 | 573,4 | 553,3 | 13,9 | 799,8 | 56,7 | |
| 13 | 23/02/2002 | 0:12:00 | 0 | 0 | -2,08 | 593,2 | 550,7 | 13,9 | 799,8 | 55,7 | |
| 14 | 23/02/2002 | 0:13:00 | 0 | 0 | 3,3 | 610,6 | 553,3 | 13,9 | 799,8 | 54,6 | |
| 15 | 23/02/2002 | 0:14:00 | 0 | 0 | 3,63 | 614,3 | 543,2 | 13,9 | 799,8 | 53,5 | |
| 16 | 23/02/2002 | 0:15:00 | 0 | 0 | 3,77 | 621 | 543 | 13,9 | 799,8 | 52,4 | |
| 17 | 23/02/2002 | 0:16:00 | 0 | 0 | 3,66 | 608,8 | 543 | 13,9 | 799,8 | 52,4 | |
| 18 | 23/02/2002 | 0:17:00 | 0 | 0 | 3,66 | 609,1 | 555,2 | 13,9 | 799,8 | 52,4 | |
| 19 | 23/02/2002 | 0:18:00 | 0 | 0 | 3,65 | 599,6 | 549,1 | 13,9 | 799,8 | 51,4 | |
| 20 | 23/02/2002 | 0:19:00 | 0 | 0 | 3,65 | 617,6 | 548,8 | 13,9 | 799,8 | 51,4 | |
| 21 | 23/02/2002 | 0:20:00 | 0 | 0 | 3,64 | 607,3 | 542,1 | 13,9 | 799,8 | 51,4 | |
| 22 | 23/02/2002 | 0:21:00 | 0 | 0 | 3,64 | 0 | 545,4 | 13,9 | 799,8 | 51,4 | |

Figura 1. Tabela de coleta de dados das 15 variáveis com programa criado.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

3.1 Identificação e Definição das Variáveis e Coleta dos Dados

A primeira parte de desenvolvimento da pesquisa foi verificar junto aos supervisores e técnicos da unidade quais as variáveis do processo que poderiam influenciar nos resultados dos monitores contínuos de material particulado das chaminés.

Foram selecionadas 15 variáveis para o estudo, que eram consideradas pelos operadores e supervisores como as mais importantes: Pressão Pzero; Vazão Água 1ºDC; Vazão Água 2ºDC; Abertura Garganta Venturi; Altura da saia móvel; Temperatura Gás IDF; Pressão Dif. 1º DC; Pressão Dif. 2ºDC; Nível Cone Saturador; Vazão Gás LD; Vazão de Oxigênio; Pressão Gás após IDF; Concentração de CO; Potência do IDF e Tipo de aço produzido.

O passo seguinte seria adequar estes dados de forma que eles pudessem ser estudados estatisticamente e correlacionados com os resultados dos monitores contínuos, com o tempo de resposta de cada variável na mesma base de dados.

Foram criados três programas computacionais para coleta dos dados e definidos o período de estudo e o tempo de resposta das variáveis, mostrado na Figura 1.

3.2 Análise Estatística

Com um banco de dados das variáveis de processo e dos monitores contínuos, foi possível realizar tratamento estatístico dos dados (testes de séries temporais, significância, regressão linear múltipla, etc...), onde se considerou como variável Independente os resultados dos monitores contínuos e como variáveis dependentes 15 variáveis do processo e sistema de lavagem.

Nesta etapa, com a compilação de 928 corridas, chegou-se a um resultado que nos deu o incentivo de continuar os estudos estatísticos, pois se obteve uma boa correlação, alcançando o valor de um R ajustado de 50 % no Convertedor 1 e de 66% no Convertedor 2.

Destas quinze variáveis do processo pode se constatar uma maior influência de cinco variáveis, e nestas que se aprofundaram os

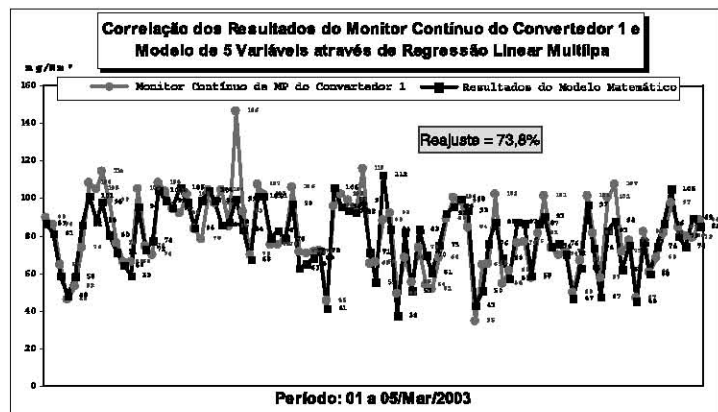


Figura 2. Resultado da primeira correlação com as variáveis mais importantes.

estudos estatísticos. As cinco variáveis que mais influenciavam os resultados dos monitores contínuos de material particulado foram: Pressão Pzero; Altura Saia Móvel; Vazão Água 2ºDC; Vazão de Oxigênio e Pressão Diferencial 2ºDC.

Com a definição das cinco variáveis de maior influência nos resultados dos monitores contínuos foram realizadas análises estatísticas.

Obteve-se então o primeiro modelo matemático, com dados de todas as corridas de 01 a 05/Março, através de Regressão Linear Múltipla, utilizando as cinco variáveis e obtendo-se um R ajustado de 73,8 %, conforme gráfico da Figura 2.

Com a obtenção deste modelo matemático foram acertados testes de campo em que se poderiam simular condições de processo para verificar a resposta das variáveis e dos monitores contínuos.

3.3 Testes de Campo com Alterações nas Variáveis

Esta fase de testes de campo começou em 06/Março/2003 com o acompanhamento do processo junto aos operadores da unidade e com a avaliação dos resultados em tempo real via sistema supervisorio de operação. Simularam-se condições operacionais de forma a se ter variações nas respostas dos monitores contínuos.

Com a efetiva cooperação dos operadores e supervisores, foi possível realizar testes em mais de 50 corridas.

Com estes testes constatou-se a grande influência de uma das variáveis do processo (Pressão Dif. 2º DC), e que a princípio não era considerada de maior importância por especialistas da unidade. A pressão diferencial do 2º DC é a variável que mede diferença entre a pressão (mmCA) na entrada da 2ª lavagem de gás do Lavador Venturi e a pressão (mmCA) na saída da 2ª lavagem.

Para se ter uma idéia, esta variável, que para controle de operação deveria operar na faixa entre 1.700 a 1.900 mmCA, os testes comprovaram que, nesta faixa de operação, os resultados de material particulado dos monitores contínuos atingiam 80 mg/Nm³, e nos testes de campo, com valores da Pressão Diferencial do 2ºDC acima de 2.000 mmCA, os resultados eram menores que 60 mg/Nm³.

Com os resultados promissores alcançados nos testes de

Tabela 1. Faixas de Controle das Variáveis Significativas

| Faixas de Controle Operacional das Variáveis de Processo e Sistema de Lavagem de Gases dos Convertedores 1 e 2 | | |
|--|--|---|
| Variáveis de controle | Valores de set-point (até 15/Mar/2003) | Proposta pela Equipe de Pesquisa (após 15/Março/2003) |
| PZero (mmCA) | -2,0 a -5,0 | -1,0 a -3,0 |
| Pressão Diferencial 2°DC (mmCA) | 1.700 a 1.900 | > 2.000 |
| Altura de Saia (mm) | 450 | < 300 |
| Vazão de Água (m ³ /h) | 630 | 610 a 630 |

campo, chegou-se a conclusão que as faixas de controle das variáveis de processo utilizadas deveriam ser modificadas e, foram então propostas novas faixas de controle.

Com o conhecimento dos resultados dos testes de campo e com a correlação obtida com o modelo matemático aplicado, os gerentes da unidade aprovaram de imediato as novas faixas de controle operacional das variáveis.

3.4 Aplicabilidade e Consolidação do Modelo Matemático

À medida que se obtiveram mais dados das corridas (médias de 16 minutos) e fazendo-se os estudos estatísticos propostos, os resultados de correlação tornavam-se cada vez consistentes.

No entanto, quando foram obtidos dados suficientes de médias diárias para uma análise estatística adequada, estas foram utilizadas, pois assim, as grandes variações foram suavizadas, e a resposta do modelo matemático atingiu valores considerados excelentes.

No gráfico da Figura 3 apresentam-se as médias diárias dos resultados de material particulado da Chaminé do Convertedor 1, os resultados do modelo matemático e a evolução da principal variável do processo (Pressão Diferencial do 2°DC).

O gráfico nos mostra a evolução da Pressão Diferencial do 2°DC a partir da mudança das faixas de controle de operação e a sua alta correlação com os dados do monitor contínuo de material particulado. É mostrada ainda a resposta do modelo matemático de cinco variáveis que atingia um R ajustado de 85,6 %.

A equação do modelo matemático para obtenção destes resultados foi:

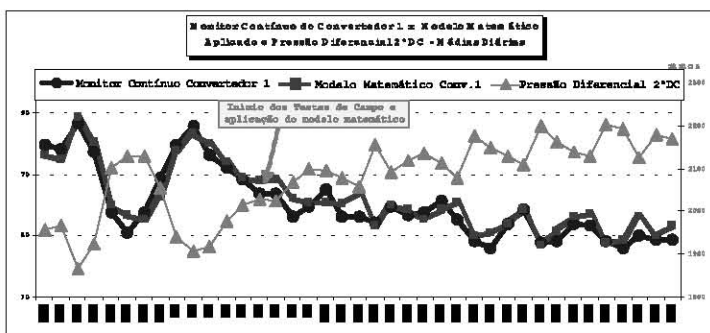


Figura 3. Resultados do Modelo Matemático Aplicado no Convertedor 1.

Monitor Contínuo do Convertedor 1 = 338 - 3,12 PZero real - 0,131 Pressão Dif. 2°DC - 0,00254 Altura Saia - 0,0345 Vazão água 2°DC + 0,000186 Vazão O₂.

Com estes resultados o modelo matemático foi consolidado e aprovado pelas gerências da unidade, e se podia afirmar que já se conheciam as variáveis que apresentavam maior influência nos resultados de material particulado.

4 RESULTADOS OBTIDOS

A partir da comprovação da aplicação do modelo matemático e com a redução significativa dos resultados de material particulado, o controle do processo foi sendo aperfeiçoado através de avaliações periódicas com técnicos e supervisores, e com novos testes junto aos operadores da Aciaria.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo matemático nos convertedores da Aciaria são apresentados a seguir:

4.1 Conhecimento do Processo e Operação do Sistema de Lavagem

Um maior conhecimento do processo e do sistema de lavagem de gases se torna uma ferramenta de controle para operação e manutenção, que podem aferir a eficiência de controle das variáveis e explicar com segurança os desvios dos resultados de material particulado das chaminés dos convertedores, e isto possibilita determinar em qual fase do processo é possível atuar para reduzir as emissões de material particulado.

Com a consolidação do modelo matemático, a Pressão Diferencial do 2°DC, a variável de maior influência sobre os resultados de material particulado, teve sua faixa de controle ampliada para valores acima de 2.150 mmCA visando à obtenção de resultados de material particulado menores que 50 mg/Nm³, o que representa a metade do limite de emissão estabelecido pelos órgãos ambientais do estado e municípios que é 100 mg/Nm³.

4.2 A Eficiência dos Monitores Contínuos

O domínio maior no controle operacional e de manutenção foi possível com a utilização

de sistemas contínuos de monitoramento combinados com a aplicação de estudos estatísticos relacionando-os com as variáveis de processo.

Importante destacar que é fundamental que se tenha uma empresa especializada para manutenção dos monitores contínuos de forma a garantir a confiabilidade e precisão dos dados gerados.

No caso dos monitores contínuos da Aciaria, todas as calibrações e inspeções foram realizadas dentro dos prazos previstos e garantiram a confiabilidade dos resultados.

4.3 Redução das Emissões da Aciaria e CST

Com o conhecimento que se adquiriu com a pesquisa e com as modificações que foram aplicadas no controle do processo, os bons resultados foram uma consequência natural.

No gráfico da Figura 4 apresentam-se as médias mensais de material particulado nas Chaminés dos Convertedores I no período de Janeiro a Julho de 2003.

O modelo matemático começou a ser aplicado no Convertedor I em Março de 2003, e tivemos uma redução de 32 % nos resultados das emissões de material particulado, e obtendo-se valores menores que 50 mg/Nm³.

No Convertedor 2 o modelo matemático começou a ser aplicado em Maio de 2003 em função de sua parada anual ter sido realizada neste mês. Neste equipamento se obteve uma redução de 33 % nos resultados das emissões de material particulado de Maio a Julho/2003.

De 1999 a 2003 a taxa de emissão específica de material particulado da Aciaria da CST foi reduzida em mais de 73 % e contribuiu decisivamente para a redução das emissões de material particulado da CST, conforme mostra o gráfico da Figura 5.

5 CONCLUSÕES

- A utilização de estudos estatísticos na área de controle ambiental é cada vez mais freqüente para explicar fenômenos que causam impacto ambiental.
- O objetivo principal da pesquisa de identificar as variáveis de processo que mais influenciavam os resultados dos monitores conti-

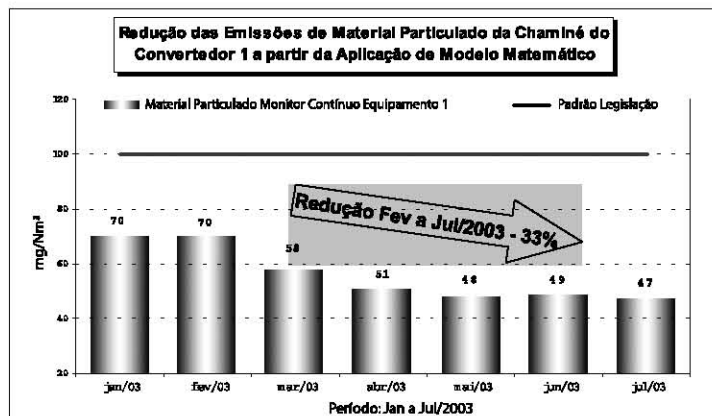


Figura 4. Redução das emissões de material particulado do Convertedor I.

nuos de material particulado dos Convertedores da Aciaria, foi plenamente alcançado.

- A implantação do modelo matemático, além de atender ao objetivo da pesquisa, permitiu a redução significativa das emissões atmosféricas da Aciaria.
- A eficiência e confiabilidade dos monitores contínuos das chaminés da Aciaria foram comprovadas, atingindo-se correlação com o modelo matemático de até 95 %.
- O modelo matemático aplicado foi considerado como uma inovação tecnológica, e está sendo utilizado em outras unidades da CST com o objetivo de reduzir emissões de material particulado e gases.
- Esta aplicação prática pode ser utilizada em qualquer empresa que possua monitores contínuos com ganhos ambientais significativos;
- Os excelentes resultados foram alcançados em função do trabalho conjunto e o comprometimento das áreas de manutenção, instrumentação, automação e, principalmente, pela área de operação da Aciaria que tem entre seus principais valores a MELHORIA CONTÍNUA e a PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO;
- Com projetos como este a CST contribuiu decisivamente para a melhoria da qualidade de vida da região de sua influência.

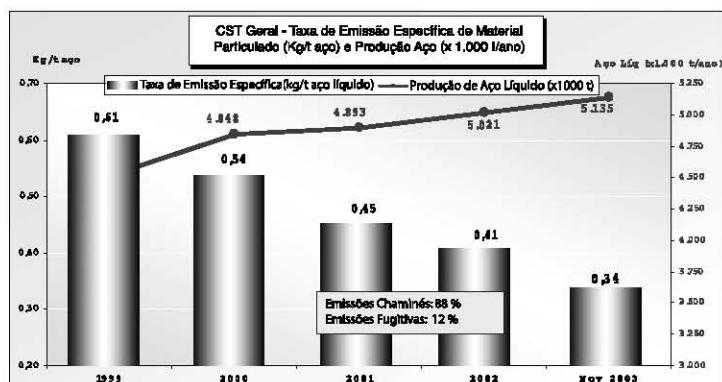


Figura 5. Redução das emissões específicas de material particulado da CST

BIBLIOGRAFIA

1. AGUIAR, S. Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA. [S.l.: s.ed.}, 2002. v.I
2. DIESEL, A, MORIMOTO, T, OLIVEIRA, J. M. Monitoramento contínuo de emissões da aciaria da CST. In: SEMINÁRIO DE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS, 32., 2001, Salvador. Anais... São Paulo: ABM, 2001. p.31-41.
3. DEMAG. **Sistema de lavagem de gases - Venturi Scrubber**: catálogo e especificação técnica do sistema de lavagem. Belo Horizonte, 1997.
4. DIESEL, A.; MAGALHAES L. Avaliação da influência das variáveis de processo nas emissões atmosféricas dos convertedores LD da aciaria da CST. In: CONFERÊNCIA DO INSTITUTO ARGENTINO DE SIDERURGIA, 2003, San Nicolas, Argentina.

Recebido em: 23/02/05

Aceito em: 08/09/05

Proveniente de: SEMINÁRIO DE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS, 35., 2004, Salvador - BA. São Paulo : ABM, 2004.