



# VALIDAÇÃO DE MODELO DE DESCARBURAÇÃO COM DADOS OPERACIONAIS DA ARCELORMITTAL TUBARÃO<sup>1</sup>

Ana Cristina Misson Cordeiro<sup>2</sup>  
Felipe Farage David<sup>3</sup>  
Sayd Farage David<sup>3</sup>  
Marcelo Lucas Pereira Machado<sup>4</sup>  
José Roberto de Oliveira<sup>4</sup>

## Resumo

A descarbonização é a reação mais importante no processo de refino primário via oxigênio, uma vez que pode governar a produtividade de toda uma aciaria. Existem alguns modelos matemáticos que descrevem o mecanismo de descarbonização e predizem o processo de uma forma geral. Foi desenvolvido um modelo de descarbonização para a aciaria utilizando dados industriais. O modelo descreve o comportamento do teor de carbono do banho e o mesmo mostrou boa correlação com dados reais obtidos na aciaria da ArcelorMittal Tubarão.

**Palavras-chave:** Modelo matemático; Convertedor; Descarbonização.

## VALIDATION OF THE DECARBURIZATION MODEL FROM OPERATIONAL DATA OF THE ARCELORMITTAL TUBARÃO

### Abstract

Decarburization is the most important reaction occurring at oxygen refining process, once it may set the steelmaking productivity. Some models have been proposed to describe the decarburization mechanism and predict the entire process. The developed model based on the industrial data relating the carbon content of the bath show good agreement with actual operating values in the ArcelorMittal Tubarão steelmaking plant.

**Key-words:** Mathematical modeling; BOP; Decarburization.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Aciaria – Internacional, 23 a 26 de maio de 2010, Resende, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Especialista de Controle Técnico do Aço da Aciaria da ArcelorMittal Tubarão

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, D.Sc., Professor do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, dos cursos de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais e Graduação de Engenharia Metalúrgica.



## 1 INTRODUÇÃO

A descarburagem é a reação mais importante de uma aciaria a oxigênio, sendo também a reação mais amplamente estudada, tanto em escala laboratorial quanto industrial. Uma boa predição da descarburagem é a chave para um bom controle de fim de sopro. O acerto da composição química do aço e sua temperatura no final do sopro de oxigênio, além do peso de corrida com o mínimo custo são os fatores que definem o desempenho de uma planta de aciaria.<sup>(1)</sup>

A descarburagem influencia outras reações importantes como a dessulfuração e a desfosforagem, que são instrumentos para determinação da qualidade final do aço. Alguns autores propuseram modelos que predizem a descarburagem no convertedor a oxigênio.<sup>(2,3)</sup> O objetivo desse trabalho é avaliar a adequação de um modelo de descarburagem via análise dos gases de saída do convertedor com dados reais de corridas da ArcelorMittal Tubarão. Para ser considerado um bom modelo de descarburagem, o mesmo deve oferecer uma boa predição do processo e também refletir a verdadeira natureza do mesmo, contribuindo para o aumento do conhecimento sobre as reações processadas.<sup>(4)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo avaliado foi proposto por Chou<sup>(5)</sup> onde a taxa de descarburagem depende da vazão de oxigênio e pode ser definida pela seguinte equação:

$$(1 - x_{inr}) \frac{dn_{O_2}}{dt} = - \frac{dn_c}{dt} (XCO_2 + \frac{1}{2} XCO) \quad (1)$$

em que  $X_{inr}$  representa a fração molar de gás inerte,  $XCO_2$  e  $XCO$  fração molar relativa de dióxido e monóxido de carbono respectivamente de acordo com o equilíbrio (2),  $dn_{O_2}/dt$  (mol/min) representa a vazão de oxigênio e  $dn_c/dt$  a taxa de descarburagem.



Devido à entrada de ar na abertura localizada entre o convertedor e a saia móvel, parte do CO reage com o  $O_2$  do ar formando  $CO_2$  de acordo com a reação (3).



Essa entrada de ar diminui a precisão para determinação da taxa de descarburagem, já que esta variável depende da concentração CO formado no banho. Assim tornou-se necessário corrigir o valor de CO medido pelo analisador de gases. Isso foi realizado através do balanço de massa de acordo com as equações (4), (5) e (6) segundo a estequiometria da reação (3).

$$\Delta n_{corr} = nO2_{anl} - nO2_{ar} \quad (4)$$

$$nCO_{banho} = nCO_{anl} + 2 \cdot \Delta n_{corr} \quad (5)$$



$$nCO2_{banho} = nCO2_{anl} - 2 \cdot \Delta n_{corr} \quad (6)$$

Em que,

$nO2_{ar}$ : número de mol de  $O_2$  do ar.

$nO2_{anl}$ : número de mol de  $O_2$  medido pelo analisador.

$\Delta n_{corr}$ : número de mol de  $O_2$  que reagiu com CO.

$nCO_{banho}$ : número de mol de CO formado no banho.

$nCO_{anl}$ : número de mol de CO medido pelo analisador.

$nCO2_{banho}$ : número de mol de  $CO_2$  formado no banho.

$nCO2_{anl}$ : número de mol de  $CO_2$  medido pelo analisador.

Com essas correções foi possível obter a fração molar relativa CO segundo a expressão (7) e por consequência a taxa de descarburização.

$$XCO = \frac{nCO_{banho}}{nCO_{banho} + nCO2_{banho}} \quad (7)$$

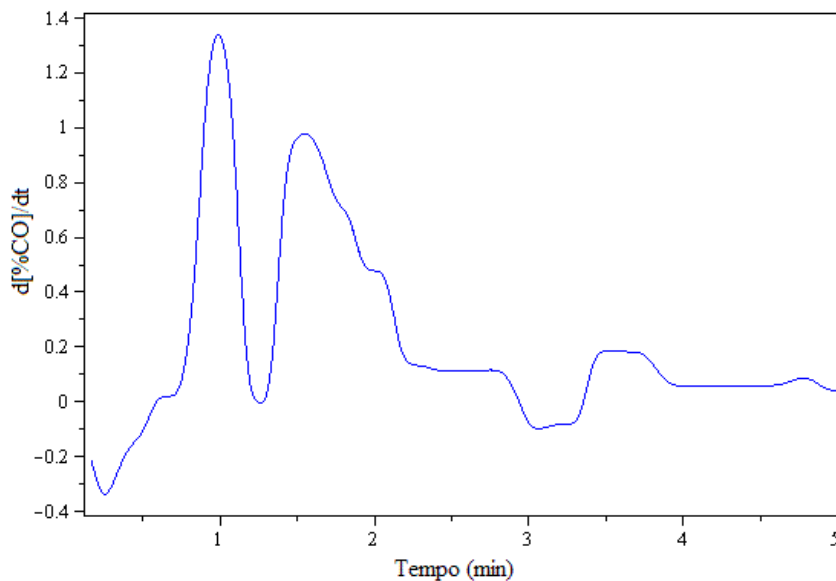
Na prática industrial é preferível trabalhar com percentual em peso de carbono [%C] ao invés de mol para representar a concentração no aço e a vazão de oxigênio  $Q_0$  ( $Nm^3/min$ ). Ao efetuar alguns ajustes chegou-se a expressão (8),

$$\frac{d[\%C]}{dt} = \frac{-Q_0(1 - x_{inr})}{1,87 \cdot 10^{-5}(1 - 0,5X_{CO})W_t} \quad (8)$$

em que  $Q_0$  é a taxa de sopro de oxigênio em ( $Nm^3/min$ ),  $W_t$  representa a carga metálica em gramas.<sup>(5)</sup>

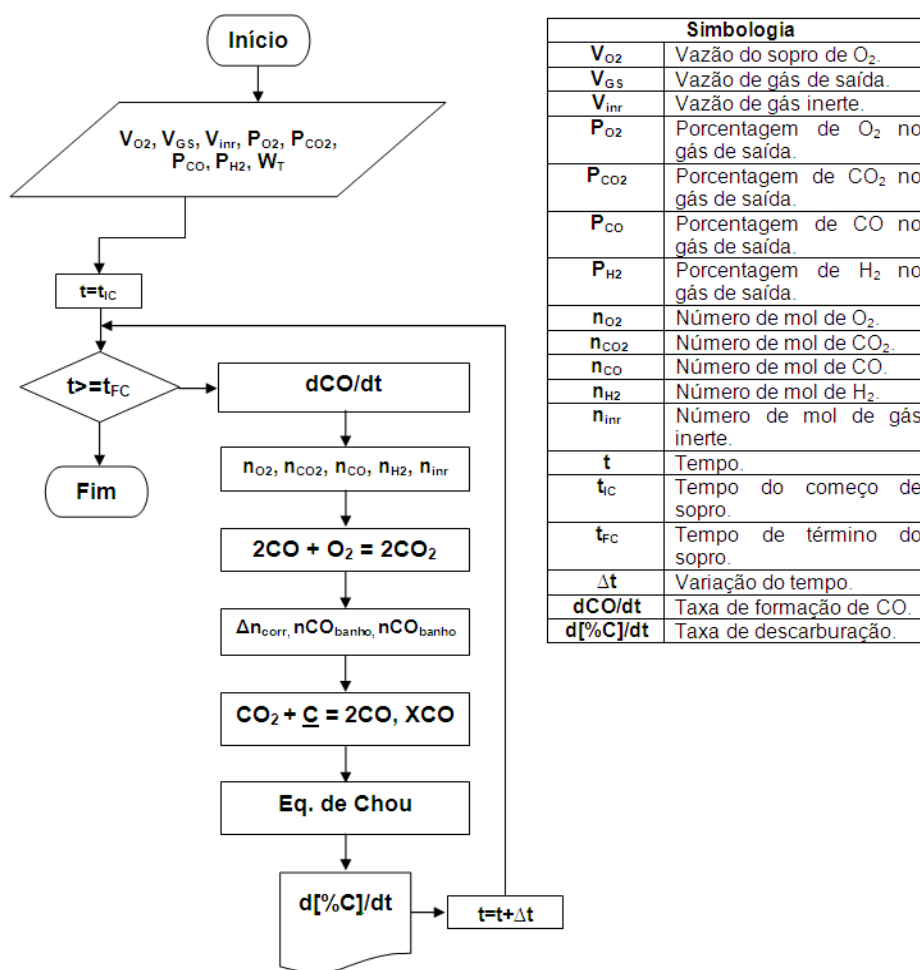
Outra questão a ser considerada é o atraso de tempo de resposta das medições dos gases de saída. O atraso acontece devido ao tempo percorrido pelo gás de saída do banho ao analisador e devido ao próprio tempo de análise do gás.

A taxa de formação de CO foi o principal parâmetro do modelo para a determinação do atraso. O modelo corrige o atraso através da taxa de formação de CO. Quando a taxa atinge o valor máximo o programa começa a considerar a descarburização do banho metálico. Na Figura 1 pode ser observado que o valor máximo é atingido em aproximadamente um minuto de sopro de oxigênio.



**Figura 1.** Taxa de formação de monóxido de carbono durante o sopro de oxigênio.

Depois de estabelecidas todas as equações e considerações foi desenvolvido um modelamento matemático em linguagem de programação, de acordo com o fluxograma da Figura 2. O modelo foi programado usando o software MAPLE.



**Figura 2.** Fluxograma do modelo matemático.



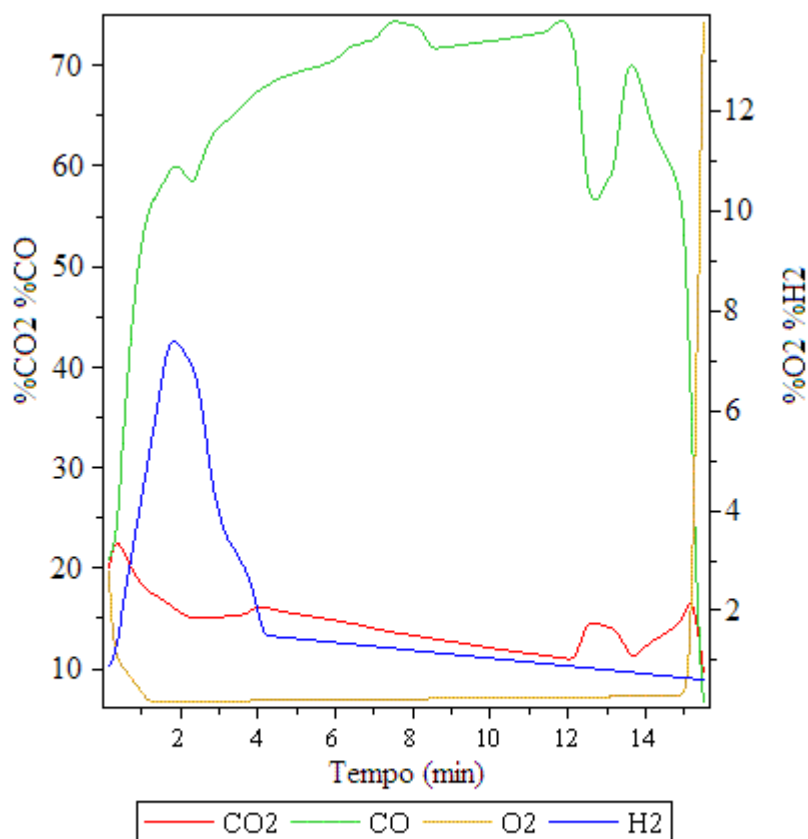
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados através do analisador de gás foram obtidos curvas da concentração dos gases de saída (Figura 3). O analisador é capaz de medir com precisão a porcentagem dos seguintes gases de saída: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>.

Na Figura 3 é visto um pico de hidrogênio no início do sopro. Ele é resultado da adição de grande quantidade de briquete de lama, além de fundentes que podem conter umidade.

A porcentagem de oxigênio decresce nos primeiros momentos do sopro e permanece menor que 0,5% durante todo o sopro. Por questões de segurança, o sopro é interrompido caso este valor aumente durante o sopro da corrida, evitando-se a formação de mistura explosiva dentro do sistema de limpeza de gases do convertedor.

O maior desafio na utilização de modelos baseados na análise de gás de saída é correlacionar o carbono contido no banho com a taxa de descarburização.<sup>(6)</sup>



**Figura 3.** Concentração dos gases de saída durante o sopro de uma corrida.

Através do modelo desenvolvido foram realizadas simulações para determinar o comportamento da taxa de descarburização em função da fração molar dos gases detectados no gás de saída do convertedor.

O gráfico da Figura 4 representa a variação da taxa de descarburização durante o sopro de oxigênio. Esse gráfico pode ser dividido em três etapas de acordo com a taxa de descarburização.

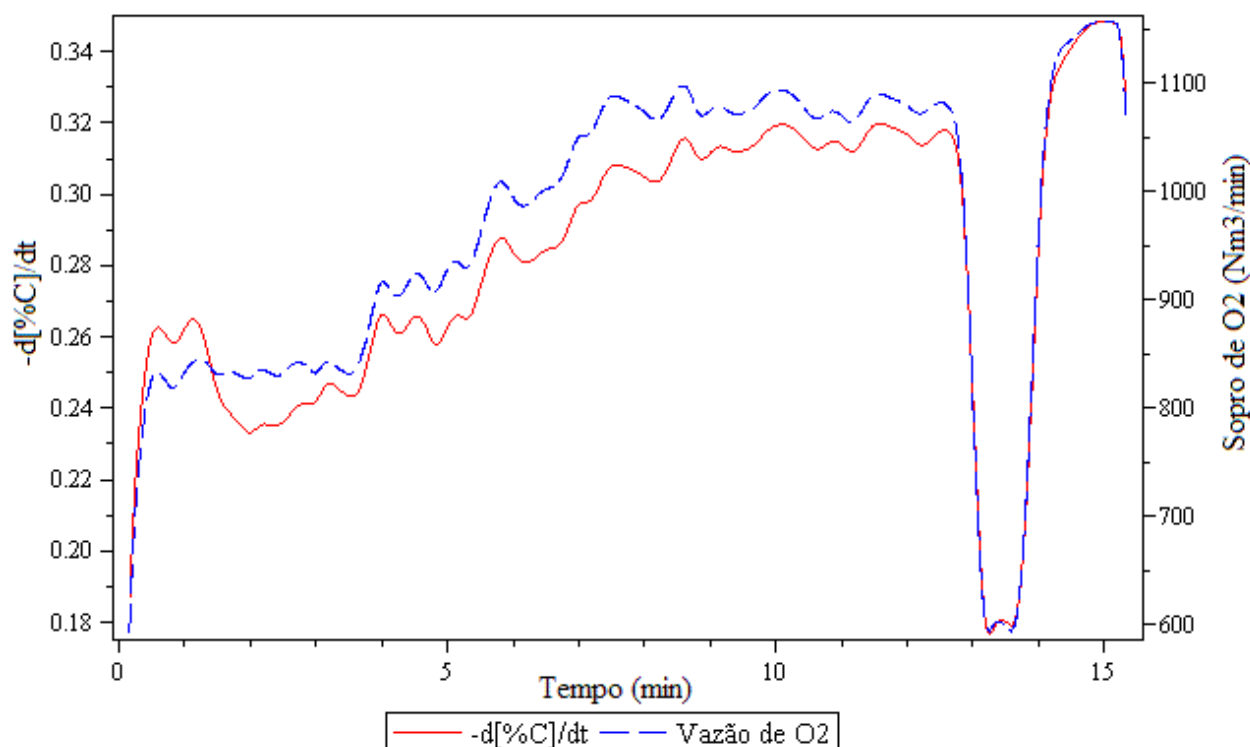


Figura 4. Variação da taxa de descarburização em função do sopro de oxigênio.

Na primeira etapa tem-se um aumento gradativo da descarburização devido à oxidação de outros elementos no banho, principalmente o silício.

A reação mais importante da segunda etapa é a de descarburização. Sua velocidade somente é limitada pela taxa de fornecimento de oxigênio neste período. Por isso, como pode ser visto na figura 4, a curva da taxa de descarburização acompanha a curva que representa a vazão de oxigênio, a partir de aproximadamente 4 minutos do início do sopro, permanecendo nesta condição até o final do sopro de oxigênio.

Esse fato é evidenciado pela entrada da sublança que no gráfico ocorre no maior vale formado aos 13 minutos de sopro. Durante a medição da sublança ocorre a diminuição da vazão de oxigênio e conseqüentemente a queda da taxa de descarburização. Também o aumento do patamar de descarburização após a saída da sublança deve-se ao aumento da vazão de oxigênio.

Na terceira etapa é observada uma diminuição acentuada da taxa de descarburização devido à oxidação de outros elementos principalmente o ferro, a redução do teor de carbono no banho e o corte no fornecimento de oxigênio.

Nesta fase, as taxas de distribuição do oxigênio entre o ferro e o carbono são governadas por diversos fatores,<sup>(7)</sup> como a condição de formação da escória, as condições de agitação do banho e as reações dos materiais escorificantes.

#### 4 CONCLUSÃO

Foi possível desenvolver um modelo matemático utilizando-se dados reais da aciaria da ArcelorMittal Tubarão que segue o equacionamento proposto por Chou et al.<sup>(5)</sup> Neste modelo, foi possível verificar que a taxa de descarburização está relacionada com a vazão de sopro de oxigênio.



Foi possível distinguir as fases do sopro de oxigênio a partir dos dados do analisador do gás de saída do convertedor. Na primeira etapa de sopro tem-se um aumento gradativo da taxa de descarburização.

Na segunda etapa a vazão de oxigênio conduz a taxa de descarburização, ou seja, a descarburização acompanha a variação da vazão do sopro de oxigênio até o final do sopro de oxigênio.

Como sugestão para trabalhos futuros, o próximo passo é correlacionar os dados obtidos através da análise dos gases de saída do convertedor com o teor de carbono contido no banho.

## REFERÊNCIAS

- 1 CHUKWULEBE, B.O.; ROBERTSON, K.; GRATTAN, J. The Methods, Aims and Practices (MAP) for BOF Endpoint Control. The Iron and Steel Technology Conference, Chicago, 2007
- 2 CHIGWEDU, C.; KEMPKEN, J.; PLUSCHKELL, W. A new approach for the dynamic process simulation of the BOF process. 6<sup>th</sup> European Oxygen Steelmaking Conference p.363-371, Aachen, Germany, 2006
- 3 ODENTHAL, H. J.; Emlig, W.H.; KEMPKEN, J.; Schluler, J. Advantageous Numerical Simulation of the Converter Blowing Process
- 4 CHIGWEDU, C.; KEMPKEN, J.; PLUSCHKELL, W. A new approach for the dynamic process simulation of the BOF process. 6<sup>th</sup> European Oxygen Steelmaking Conference p.363-371, Aachen, Germany, 2006
- 5 CHOU, K.C; PAL, U.B.; REDDY, R.G. A General Model for BOP Decarburization. ISIJ international, v. 33, n. 8, p. 862-868, may. 1993.
- 6 SUN, S.; LIAO, D.; PYKE, N.; BOYLAN, K. ; WALLACE, G. Development of an Offgas/ Model Technology to Replace Sublance Operation for KOBM Endpoint Carbon Control at ArcelorMittal Dofasco. The Iron and Steel Technology Conference, Pittsburgh, 2008
- 7 MALYNOWSKYJ, A. Apostila de Fabricação de Aço em Forno Básico à Oxigênio. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2006