



ESTABILIDADE NO PROCESSO DE DRENAGEM DOS LÍQUIDOS DOS ALTOS FORNOS DA ARCELORMITTAL TUBARÃO ATRAVÉS DO INVESTIMENTO EM TECNOLOGIAS¹

*Daniel Avelar Lucena²
Erick Torres Bispo dos Santos³
Luiz Augusto Wasem²
Roberto da Cruz Júnior²*

Resumo

Ao longo dos anos observou-se a necessidade de investimentos na área de casa de corrida dos Altos-Fornos, seja através da aquisição de novas tecnologias no monitoramento do processo de esgotamento dos líquidos do cadinho, investimentos em equipamentos já existentes na área ou melhoria na qualidade dos insumos. Tais investimentos têm a finalidade de promover um melhor controle no balanço de gusa e escória. Além da aquisição de novas tecnologias, foram feitas melhorias em equipamentos a fim de promover uma maior estabilidade durante as corridas nos Altos-Fornos, tais como: refrigeração das perfuratrizes e da temperatura da massa de canhão, assim como o avanço no estudo da massa de tamponamento. Essas ações possibilitaram um melhor monitoramento da quantidade de líquido presente dentro do cadinho, auxiliando na tomada de decisões, além de proporcionar um melhor controle dos índices de trincas nos furos de gusa, estabilidade na injeção da massa de tamponamento e na drenagem do Alto-Forno.

Palavras-chave: Alto forno; drenagem; estabilidade.

STABILITY ON PROCESS LIQUID DRAINAGE OF ARCELORMITTAL TUBARÃO BLAST FURNACES THROUGH INVESTMENT IN TECHNOLOGY

Abstract

Over the years it was identified investments needs in AMT cast house area such as acquiring new technologies to monitor drainage control of hearth, improving current equipment or enhancing the quality of taphole mixes. They had the purpose of improving the pig iron and slag balance. Examples of actions are drill machine cooling, taphole thermal profile and mud gun temperature control so as the advance on study of taphole mixes. These actions allowed the control of liquid amount present inside the hearth and helped us to take decisions besides affording a better control of cracks index and stability of taphole mixes injection.

Key-words: Blast Furnace; Drainage; Stability.

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Engenheiro Metalurgista. Especialista de Alto Forno da ArcelorMittal Tubarão.

³ Engenheiro Metalurgista. Gerente de Controle de Processo de Produção de Gusa e Energia.

1 INTRODUÇÃO

O processo de drenagem de líquido em Altos-Fornos sempre foi alvo de estudos no setor siderúrgico devido à sua importância na estabilidade operacional dos Altos-Fornos. A boa retirada do líquido presente no cadinho depende de vários fatores operacionais e de processo que somados possibilitam tal resultado. Em contrapartida, um mau esgotamento do cadinho contribui diretamente na operação do Alto-Forno possibilitando alterações de pressão, elevação da carga térmica, descontrole do nível térmico, entre outros, o que vem a interferir diretamente na produção de gusa e escória.

É muito importante que o cadinho seja bem drenado, a fim de manter o bom funcionamento e estabilidade da descida carga. A importância de uma drenagem eficiente torna-se um item relevante no que diz respeito à produção do Alto-Forno. O bom conhecimento do estado interno do cadinho é de fundamental importância para que ações possam ser tomadas garantindo um adequado controle de drenagem do líquido presente em seu interior.⁽¹⁾

Infelizmente, devido às condições hostis em que se encontra o Alto-Forno, como temperatura elevada, é muito difícil realizar medições diretas. Portanto, as estimativas de variáveis de estado dependem principalmente de medidas secundárias. Métodos de avaliação do nível de líquido no cadinho e porosidade do homem morto foram relatados por vários pesquisadores, usando balanço de massa e força eletromotriz (FEM).⁽²⁻⁶⁾ Na sua forma mais simples, os balanços de massa se baseiam em estimativas de produção instantânea, normalmente calculado a partir das análises do fluxo de gás e pesagem de carros torpedos.⁽¹⁾

Devido à necessidade de se obter uma boa drenagem dos líquidos do Alto-Forno da ArcelorMittal Tubarão, tem-se utilizado ferramentas técnicas, tecnológicas e operacionais para medir o volume de líquido presente e promover assim uma melhor drenagem. O estudo de alguns fatores tais como as dimensões do cadinho e sua permeabilidade, o tamanho da broca utilizada, a massa de tamponamento e o bom funcionamento dos equipamentos utilizados durante a abertura e fechamento do furo de gusa são primordiais para o sucesso no esgotamento.

1.1 Parâmetros Utilizados para Garantir Estabilidade Durante a Drenagem

1.1.1 Medição de nível de líquido utilizando força eletromotriz (FEM)

Durante a última década, tem-se medido o nível de gusa e escória no cadinho dos Altos-Fornos por meio de medidas de força eletromotriz entre um eletrodo colocado na região das ventaneiras e outro na região abaixo do furo de gusa conforme mostrado na Figura 1.

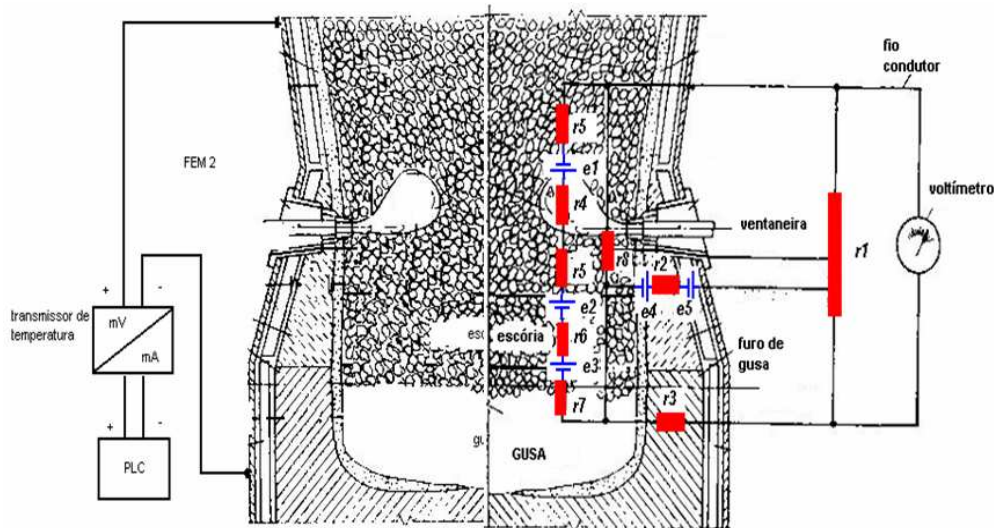


Figura 1 - Níveis de gusa e de escória durante o ciclo da corrida.⁽³⁾

A diferença do potencial é creditada às reações químicas nas regiões do cadinho e das ventaneiras, causada pelo circuito através da escória, gusa e paredes do cadinho e carcaça de aço do Alto-Forno.⁽³⁾

A condutividade elétrica entre o gusa, escória e homem morto é assumida preponderante na causa de variações do potencial medido na carcaça de aço em virtude das variações dos níveis de gusa líquido dentro do cadinho.⁽¹⁾ A Figura 2 mostra um comportamento típico do nível de gusa e escória e o sinal da força eletromotriz para um período de cinco corridas.

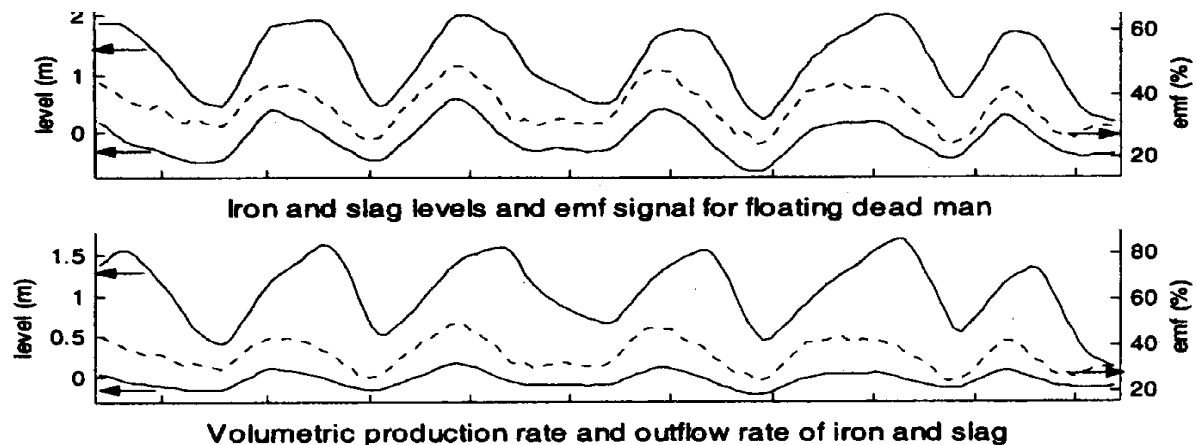


Figura 2 – Nível de gusa líquido e de escória para a situação do homem morto flutuando e volume de produção.⁽¹⁾

Existe um retardo entre o início da drenagem da escória e o início do vazamento de gusa líquido. A evolução do fluxo de escória é similar ao fluxo de gusa líquido. Em alguns casos, os fluxos de escória e de gusa decrescem abruptamente, em virtude do bloqueio dos fluxos pelas partículas de coque.⁽¹⁾

Os principais fatores que interferem na medição da FEM são:

- alteração de condições e parâmetros operacionais: parada do alto-forno, alteração de taxa de injeção, vazão de sopro, arriamento de carga etc;⁽³⁾
- variação da temperatura na carcaça do alto-forno (efeito seebek);⁽⁴⁾ e

- variação pressão de sopro, permeabilidade da carga e temperatura do gusa.⁽⁵⁾

1.1.2 Medição contínua do nível de gusa dos carros torpedos com medição via dispositivos radares

O Projeto de medição contínua do nível de gusa dos carros torpedos na área dos Altos-Fornos consiste na implantação de um sistema de medição com princípio de funcionamento baseado na utilização de dispositivos radares. Dispositivos radares são dispositivos sensores sem necessidade de contato, tendo como grande vantagem na implantação, quando comparado a outros métodos, a qualidade da sua medição.

O sistema utilizado caracteriza-se como um método de medição indireta, já que o cálculo da distância é determinado pela variação da frequência emitida pelo dispositivo radar, ao longo do tempo. Com o novo sistema e medição são disponibilizadas, em tempo real, informações relativas ao nível de gusa presente no carro torpedos, tanto na área das casas de corrida (vista em painel) quanto no sistema digital de controle dos Altos-Fornos na sala de controle. A Figura 3 ilustra o princípio de funcionamento do radar e a forma como é utilizada durante a medição de nível de líquido em carro torpedos.

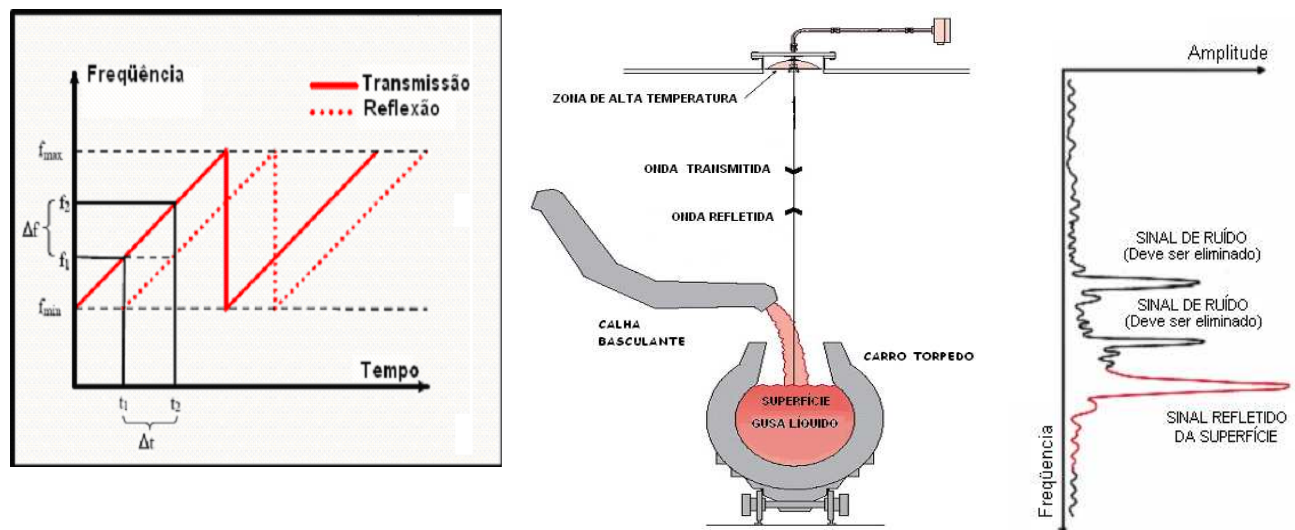


Figura 3 – Princípio de funcionamento do medidor de nível em carro torpedos.

A partir do monitoramento do nível de gusa dentro do carro torpedos é possível obter dados que auxiliem a operação no balanço de gusa e conseqüentemente na drenagem do cadinho. A vazão de saída de gusa também pode ser monitorada visto que se pode estimar o aumento de massa dentro do carro torpedos em um determinado período de tempo.

1.1.3 Insumos e Equipamentos utilizados durante o fechamento e abertura dos furos de gusa

A utilização de bons equipamentos durante a abertura e o fechamento do furo de corrida é fundamental para a estabilidade da corrida, interferindo diretamente na drenagem dos líquidos presentes no interior do Alto-Forno. Além de uma boa manutenção, o investimento em novas tecnologias garante à perfuratriz e ao canhão de lama, que são os equipamentos primordiais nesta atividade, uma maior regularidade durante a operação.

Assim como os equipamentos, a utilização de insumos adequados como massa de tamponamento do furo de corrida também são de fundamental importância para a garantia de estabilidade. Tecnologias cada vez mais avançadas vem sendo utilizadas na formulação destas massas que estão sendo fabricadas de forma cada vez mais personalizadas para cada Alto-Forno.⁽⁷⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Visando um melhor monitoramento e estabilidade no processo de drenagem de líquido dos Altos-Fornos da ArcelorMittal Tubarão uma série de ações foram implementadas possibilitando alcançar resultados satisfatórios que contribuem nas avaliações operacionais e na tomada de decisões.

2.1. Implantação do Sistema de Medição de Nível de Líquido Utilizando Força Eletromotriz no AF2 e AF3

A sistema de medição nível de líquido no cadinho utilizando força eletromotriz foi utilizada nos Altos-Fornos da ArcelorMittal Tubarão com a finalidade de monitorar a drenagem do líquido presente dentro do cadinho, podendo assim ser utilizada como parâmetro na otimização das atividades operacionais.

A medição é realizada de forma indireta com instalação de sensores na carcaça do AF em diferentes níveis do cadinho de modo que havendo mudança do nível de líquidos no cadinho haverá variação na força eletromotriz (FEM) gerada conforme estudos realizados por Dorofeev e Novokhatskii.⁽³⁾

Em agosto de 2007 foi implantado nos 2 furos de drenagem de líquidos do Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão tal modelo, no qual mostrou excelentes resultados.

Tal tecnologia pôde ser empregada no Alto-Forno 3 primeiramente no furo de gusa 4 em fevereiro de 2009. Devido ao bom funcionamento do equipamento, foi instalado em dezembro de 2009 os termopares em outros 3 pontos do Alto-Forno 3, todos próximos aos demais furos de gusa como pode ser visto na Figura 4.

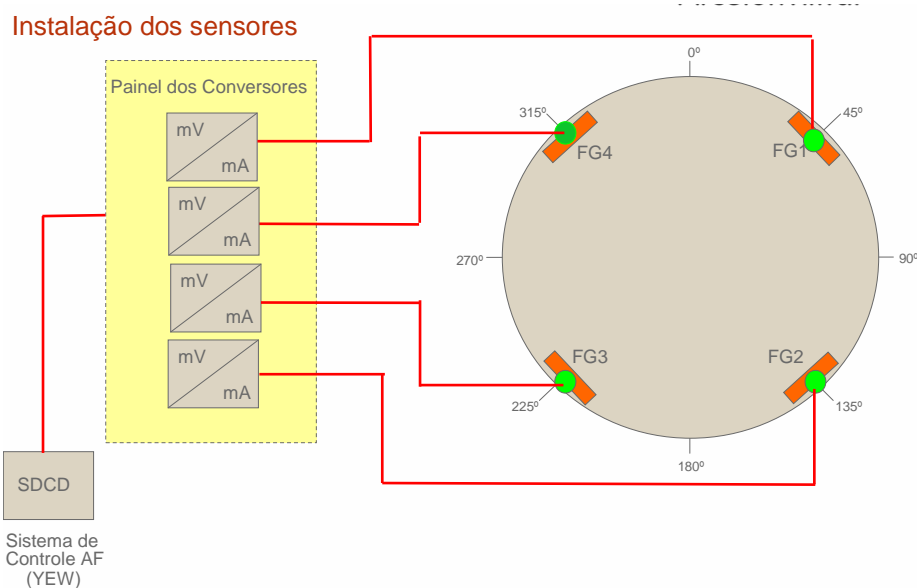


Figura 4 - Simulação dos locais onde foram instalados os termopares no Alto-Forno 3 da ArcelorMittal Tubarão.

2.2 Medição de Nível de Líquido em Carro Torpedo e Controle da Vazão de Gusa

O sistema de medição de Líquido de carro torpedo foi implementado no Alto-Forno 1 em dezembro de 2005 e no Alto-Forno 2 em janeiro de 2006. Anterior a implementação desta tecnologia o processo de medição era feito utilizando uma sonda tipo “pêra” que descia através de uma corrente acionada manualmente pelo operador até entrar em contato com a superfície do metal líquido, estimando-se desta forma a quantidade de líquido presente dentro do carro torpedo. A tecnologia utilizando radar é compreende por uma antena e um controlador, instalados na casa de corrida, como mostra a Figura 5.



Figura 5 – Local de instalação na casa de corrida do Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão.

Com a distância medida, o radar envia essa informação para o Sistema de Controle Distribuído (SDCD) do Alto Forno, que as repassa para o sistema de nível 2, que é o sistema que realiza a otimização dos processos operacionais dos Altos-Fornos. No sistema de nível 2 foi implementado um *software* capaz de calcular a vazão de gusa de enchimento do carro torpedo (representado pela Figura 6) a partir desta informação e de outros parâmetros pré-existentes na rede.

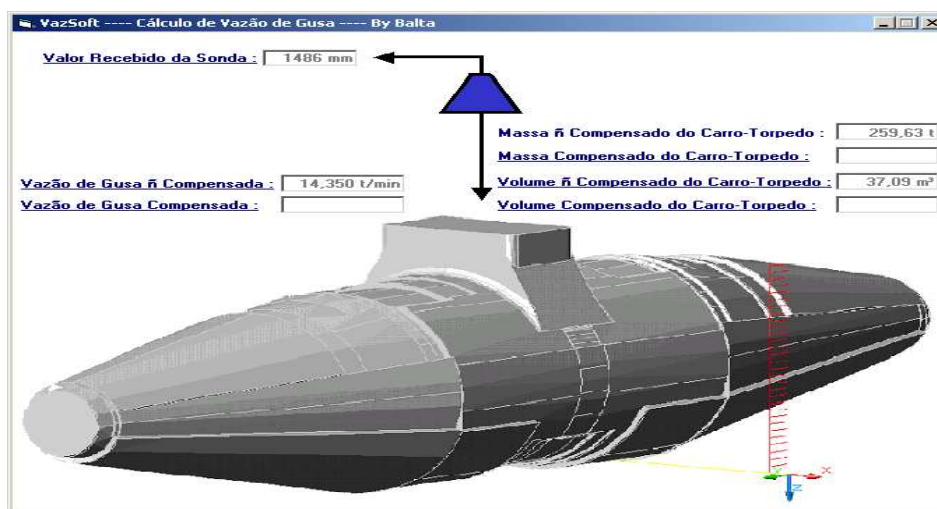


Figura 6 – Calculo da vazão de gusa no carro torpedo.

2.3 Evoluções no Estudo de Insumos, Equipamentos e Controle de Vazão de Gusa

Existe na ArcelorMittal Tubarão uma estreita relação entre os fornecedores de massa de tamponamento com a unidade técnica local e R&D. Visando otimizar a massa utilizada, uma série de experimentos foram realizados a fim de diminuir as interferências que possam contribuir para um mau esgotamento do furo de gusa, tais como trinca e retorno de massa de tamponamento.

A ArcelorMittal Tubarão em conjunto com estes fornecedores e consultores analisou a performance da massa de tamponamento a partir da variação de sua composição química dos resultados operacionais fazendo *benchmarking* com outros Altos-Fornos. Tais estudos envolvem a variação de 3 elementos principais (Al_2O_3 , SiO_2 e $SiC+C$) conforme demonstrado no diagrama ternário da Figura 7. Diferentes proporções entre estes elementos conferem diferentes propriedades físicas à massa, o que influencia diretamente nos resultados finais. A família de massas do tipo III em função excelentes resultados operacionais foi o foco do desenvolvimento no item massa de tamponamento.⁽⁷⁾

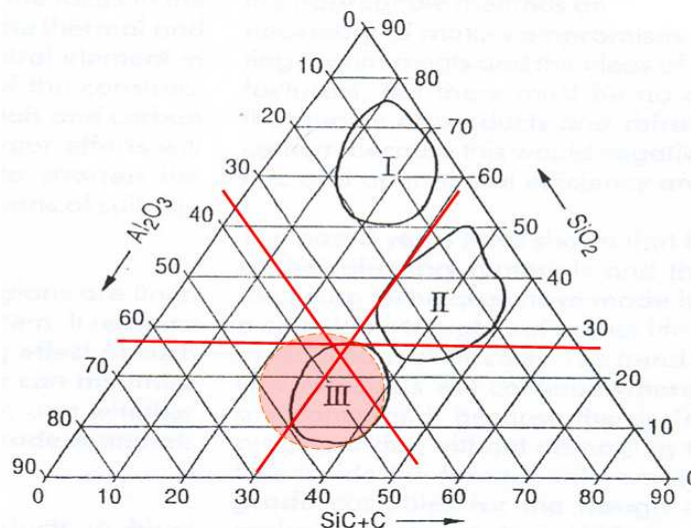


Figura 7– Diagrama ternário com dos principais elementos utilizadas em massa de tamponamento.

Esta família de massas de tamponamento proporciona formulações de massa que geram injeções mais estáveis, corridas mais longas, maior comprimento de furo de gusa e diminuição do índice de trincas, possibilitando desta forma, uma melhor drenagem do cadinho com maior estabilidade no processo. Porém, em algumas formulações, a propriedade mecânica relativa ao corte da massa se torna acentuada havendo a necessidade de desenvolvimentos em equipamentos de injeção e corte (brocas e perfurador) que possibilitem a aplicação deste tipo de massa de forma a preservar a estabilidade.

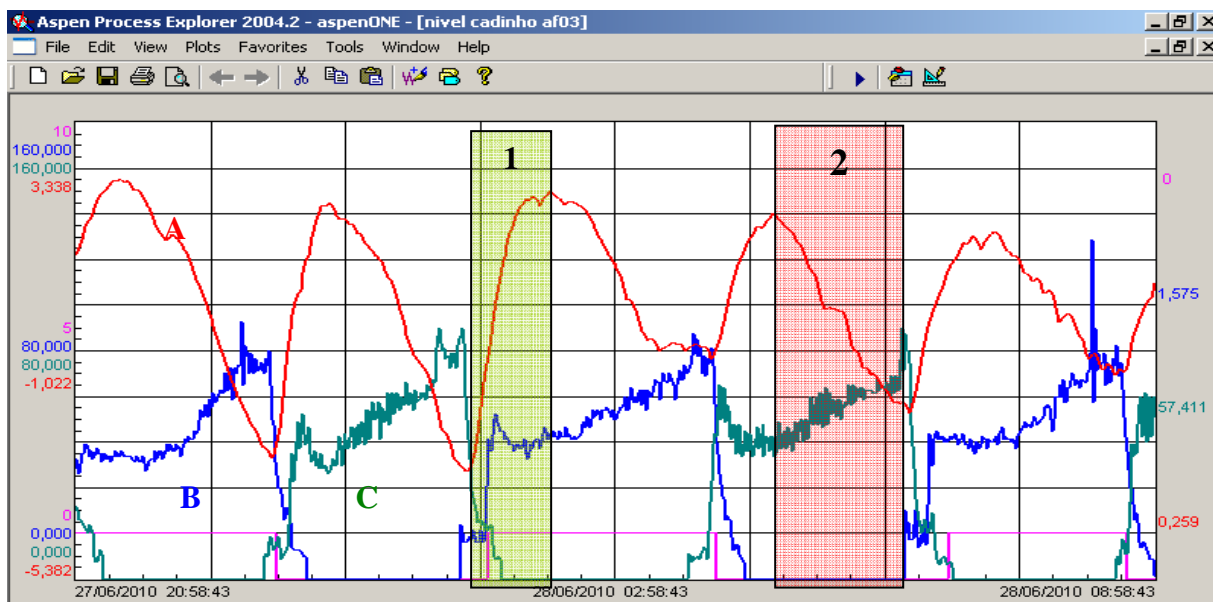
Com a intenção de otimizar a perfuração foram testados vários tipos de brocas utilizadas na perfuração do furo de gusa e feito investimentos no processo de refrigeração das perfuratrizes (correta vazão de água e nitrogênio) e canhão de lama (implementação de ventiladores) para o controle da temperatura da massa de tamponamento dentro do canhão.

Foi criado no Procom (Computador de Processo do Alto-Forno) um banco de dados no nível 2 com a finalidade de se obter um melhor controle dos itens ligados a abertura e fechamento do furo de gusa, tais como: controle da pressão de injeção

inicial e final da massa no canhão e a letra do turno que ira fechar o furo de gusa , controle de temperatura da massa de tamponamento no canhão de injeção. Objetiva-se uma temperatura de massa ideal para injeção entre 60°C a 95°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos resultados obtidos no sistema de medição de nível de liquido utilizando força eletromotriz foi possível identificar o perfil de esgotamento do cadinho durante a drenagem de líquidos. Esta ferramenta permitiu a tomada de ações operacionais no intuito de regular a saída de material líquido do cadinho, tais como a alteração do diâmetro da broca de abertura do furo, a necessidade de antecipar a abertura de outro furo de gusa, necessidade de redução do volume de ar soprado, entre outras. Concomitantemente podemos analisar a variação de nível de líquido no cadinho com a pressão exercida nos tambores do granulador de escória que posteriormente é convertida em vazão de escória. A Figura 8 mostra os dados obtidos e transferidos para o nível 2.



Legenda:

A – Nível de líquidos dentro do cadinho.
 B – Pressão no tambor do granulador 1.
 C – Pressão no tambor do granulador 2.

1 – Período de elevação de líquidos no cadinho.
 2 – Período de drenagem de líquidos no cadinho.

Figura 8 – Comportamento do nível de líquidos no cadinho e pressão no tambor de granulação de escória no Alto Forno 3 da ArcelorMittal Tubarão.

A partir da análise da curva de líquidos (A) é possível analisar o comportamento da saída do material líquido, e sobre tal análise tomar as ações cabíveis.

A vazão média de saída de gusa calculada a partir da implementação da sonda de medição de nível de gusa presente no carro torpedo possibilitou uma melhor análise do balanço de metal líquido, sendo mais um parâmetro de controle de esgotamento. A Figura 9 mostra o comportamento desta vazão.

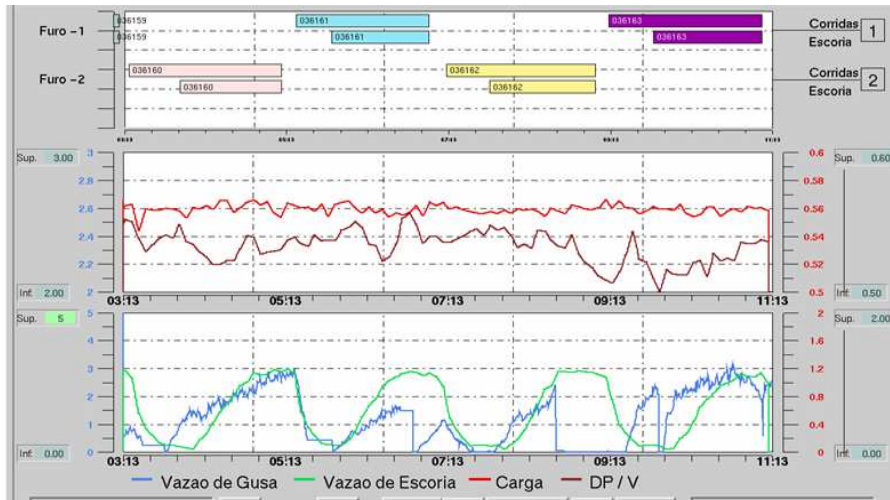


Figura 9 – Vazão de gusa e escória indicada no nível 2 do Alto Forno 2.

O desenvolvimento de novas formulações de massas de tamponamento, estudo de brocas de perfuração e sistemas de refrigeração das perfuratrizes proporcionou resultados satisfatórios no que diz respeito ao aumento do tempo de corrida e diminuição do número de trincas nos furos de gusa. Esses resultados auxiliam no processo de estabilidade da drenagem do cadinho.

As Figuras 10 e 11 mostram os resultados dos testes de perfuração em uma planta piloto feita por uma empresa refratária após uma consultoria pedida pela ArcelorMittal Tubarão que avalia a influencia da broca e da freqüência do giro da perfuratriz durante a perfuração do furo de gusa.⁽⁸⁾



Figura 10 - Corte com muitas trincas.



Figura 11 - Corte com poucas trincas.

É possível verificar a Figura 12 mostra a variação de trincas no Alto-Forno 2 influenciada, entre outros fatores, pela refrigeração na perfuratriz (conforme Figura 13). Nota-se que após investimentos na perfuratriz com a finalidade de otimizar os níveis de vazão de água o índice de trincas diminuiu sensivelmente.

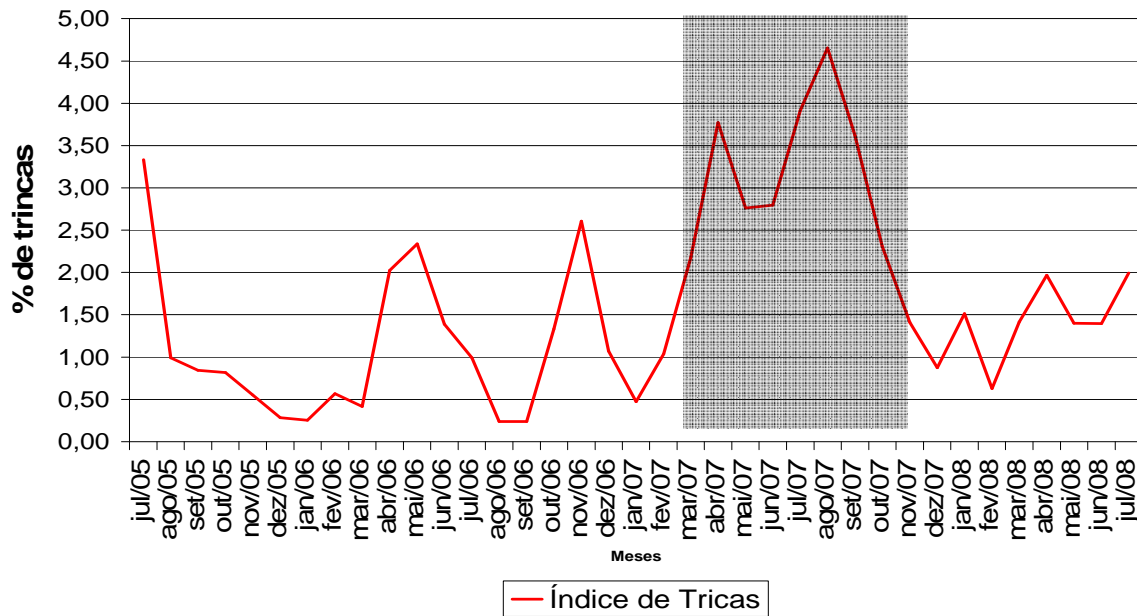


Figura 12 – Índice de geração de trincas no Alto Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão.

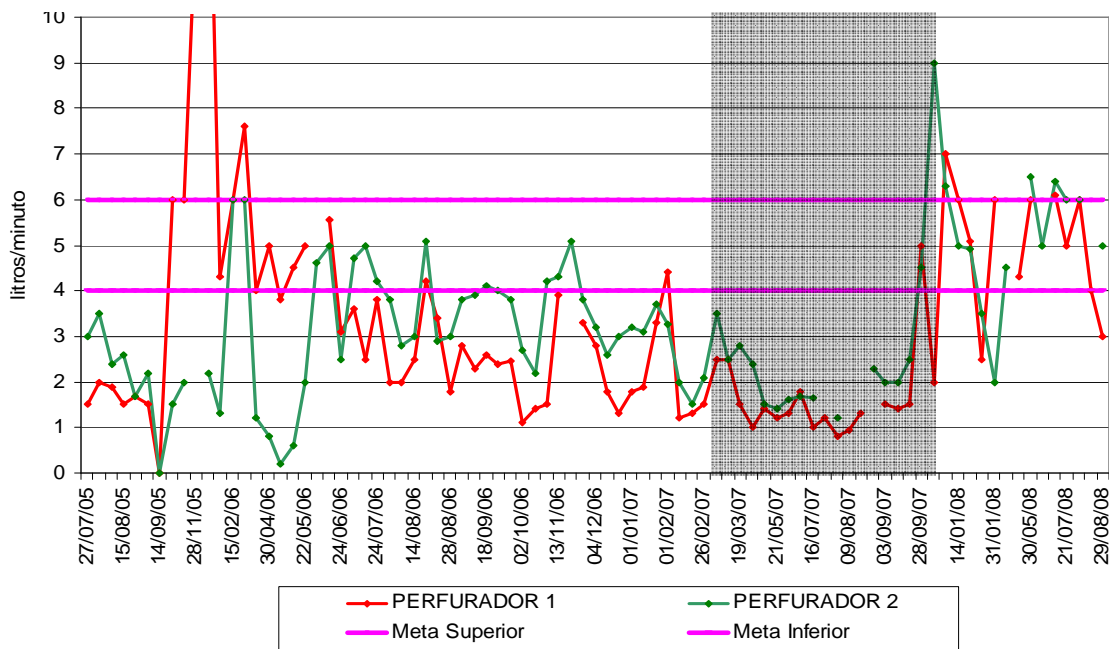


Figura 13 - Vazão de águas na perfuratriz do AF2 da ArcelorMittal Tubarão.

A Figura 14 mostra a tendência do aumento do tempo de corrida no Alto-Forno 2 como resultado dos investimentos realizados nos equipamentos e em massas de tamponamento cuja formulação foi conseguida através de estudos específicos para aquele tipo de furo de gusa, levando em consideração as suas peculiaridades.

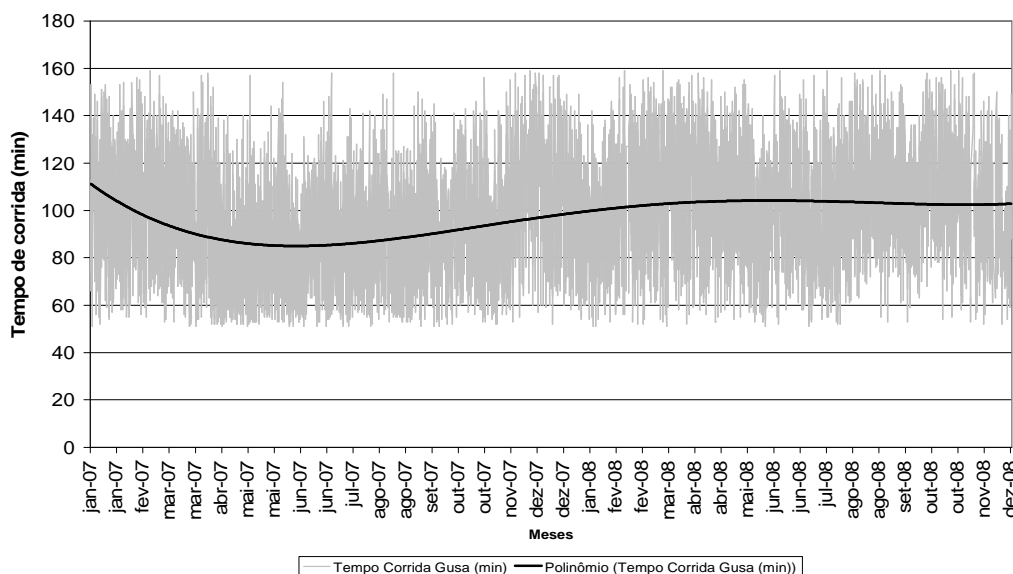


Figura 14 – Evolução do tempo de corrida de gusa no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão.

4 CONCLUSÃO

Em virtude dos fatos e dados colocados neste trabalho é possível concluir que a utilização de novas ferramentas tecnológicas alinhadas à otimização de processos proporcional uma maior estabilidade de drenagem do Alto-Forno.

Através do cálculo de vazão de gusa e escória e das curvas de nível de líquido presente dentro do cadinho foi possível monitorar o esgotamento e com tal fato, tomar decisão que contribuam para a estabilidade do processo.

Da mesma forma, as utilizações de novos equipamentos e de insumos contribuíram para diminuir os desvios que afetam o processo de abertura e fechamento de furo de gusa resultando na diminuição dos índices de trincas.

REFERÊNCIAS

- BRÄNNBACKA J., SAXÉN H., ISIJ International, Vol. 41 (2001), No. 10, pp. 1131–1138
- Dorofeev V.N., Novokhatskii A. M. Origin of difference in electric potentials on blast furnace shell, Steel in the USSR, 1984, Vol 14, pp. 10-12.
- D. Lathlean, D. Mellor, S. Mitchell and F. Tanzil: Proc. McMaster Symp. Iron Steelmaking, Vol. 19, McMaster University, Hamilton, (1991), 204.
- Dorofeev V.N., Novokhatskii A. M. Origin of difference in electric potentials on blast furnace shell, Steel in the USSR, 1984, Vol 14, pp. 10-12
- HUGHES, M., Summary of BHP experience with blast furnace EMF sensors, Australia: BHP Research Laboratories, 1996.
- Danloy, G., C. Stoltz, J. Crahay, P. Dubois. Measurement of iron and slag levels in blast furnace hearth, Chicago: Ironmaking Conference Proc., 1999. pp. 89-98.
- R. J. Nightingale, F. W. B. U. Tanzil, A. J. G. Beck, J. D. Dunning and S. K. Vardy: Proc. 57th Ironmaking Conf., ISS, Warrendale, PA, (1998), 567.
- CRUZ JÚNIOR, R. Relatório interno de casa de corrida da AMT/IDG – SERRA – ES, 2002
- OLIVEIRA M.A., CRUZ JÚNIOR, R., NOVAES. J, Melhoria na Performance dos Furos de Gusa Através do Uso de Perfuratrizes Hidráulicas no AF2 da CST ARCELOR BRASIL Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias Primas” - Ouro Preto-MG, ABM 2006. p. 349-357.