

USO DA TECNOLOGIA TERMOGRÁFICA NA DETECÇÃO DE ESCÓRIA DE CONVERSOR NO PROCESSO CSN ¹

Antônio Augusto Martins ²

Justiniano Magalhães ³

Rodrigo da Silva Magalhães ²

Silvio Antonio Petto Nunes de Abreu ⁴

Wolfgang Bender Bergold ³

Resumo

Minimizar a transferência de escória do conversor para panela é uma importante variável de qualidade no processo de fabricação de aço. As regras fundamentais de controle de processo ditam que para controlar a transferência de escória para panela é necessário medir sua transição com o aço de maneira confiável e precisa. Há anos esta tem sido um dos grandes objetivos dos aciaristas. Por esta razões, sistemas TSD foram instalados na CSN Volta Redonda em todos os três conversores LD. O sistema usa uma câmera de infra-vermelho operando em um comprimento de onda de 8 a 12 micrometros, dentro do espectro infravermelho. A imagem da câmera de infra-vermelho, obseravda pelos os operadores através de um monitor, mostra uma mudança de cor quando ocorre a passagem de escória durante o vazamento. O sistema contempla um calibração automática para diferentes temperaturas de vazamento, filtragem de interferências externas, ajuste de sensibilidade e geração de alarmes para o operador. Este artigo descreve o trabalho de instalação do sistema TSD na CSN e seus primeiros resultados operacionais.

Palavras-chave : TSD; Vazamento; Detecção de escória; Infravermelho.

USE OF THE THERMOGRAPHIC TECHNOLOGY IN THE SLAG DETECTION OF BOF IN PROCESS CSN

Abstract

Minimizing slag carry over from the converter to the ladle is a important quality variable of steelmaking process. Fundamentals rules of process control say that for control slag transfer to ladle is necessary measuare your transition with steel of way accuracy and reliable. Over the years this has been a challenge of steelmakers. For this reasons, TSD system were installed at CSN Volta Redonda in all of three BOF's. The system uses an infrared camera operating with infrared the 8 to 12 micrometers wavelength. The infrared camera image, displayed to the tapping operators on a monitor, shows a sharp change in color carryover slag occurs during tapping. The system contemplates automatically calibrate on diferente tap temperatures, filter for external interferences, sensibility ajdust and generation of alarms for the operators. This paper describes the installation work of TSD system and your first results.

Key words: TSD; Tapping; Slag detection; Infrared.

¹ *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

² *Engenheiro Metalurgista - CSN*

³ *Engenheiro Elétrico - CSN*

⁴ *Engenheiro Mecânico – Rep Minerals*

⁵ *Engenheiro Elétrico – Amepa GmbH*

1 Introdução

A passagem de escória do Conversor para a panela é uma variável de controle importante para a produção de aços de boa qualidade. Os conceitos de Controle de Processo direcionam as nossas atenções para a detecção da transição entre a passagem de aço e escória, de maneira confiável e precisa, a fim de se obter um melhor controle de final de vazamento.

Fazendo-se uma breve retrospectiva da tecnologia de detecção de escória por infravermelho, os primeiros esforços tiveram início em 1980 com a empresa Sumitomo ao realizar testes para distinguir-se visualmente o aço e a escória.⁽¹⁾ Os testes de Visão Termográfica iniciais foram promissores, mas não levou à sua aplicação generalizada, pois a tecnologia de IR ainda estava no seu estágio inicial. No final dos anos 90 a AMEPA juntamente com alguns produtores de aço iniciaram alguns testes significativos. As empresas Bethlehem Steel nos EUA e a alemã HuettenWerke Krupp Mannesmann reportaram desenvolvimentos independentes com a nova tecnologia IR disponível.⁽²⁻⁴⁾

O trabalho inovador da Bethlehem Steel trouxe resultados importantes para as usinas siderúrgicas no mundo. A evidência deste significado pode ser confirmada pela patente concedida em 1999 a Bethlehem Steel no uso pioneiro de Sistema de Detecção de Escória utilizando-se radiação infravermelha de comprimento de onda longo. A Figura 1 mostra a evolução do número de usinas siderúrgicas que adotaram a tecnologia IR na detecção de escória.

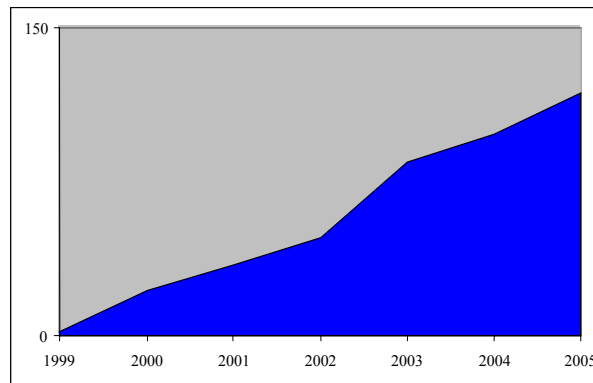


Figura 1: Uso da tecnologia infravermelha em Usinas Siderúrgicas.⁽⁵⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

A detecção de escória por Termografia se utiliza da diferença da radiação térmica emitida pelo aço líquido e a escória líquida. Segundo um dos princípios da Termodinâmica todo corpo numa determinada temperatura emite radiação térmica. De fato, os cientistas demonstraram que todo corpo a uma temperatura acima do zero absoluto, isto é 0°K (-273.15°C) emite radiação térmica na faixa do Infra Vermelho do espectro eletromagnético. Felizmente a faixa do infravermelho é próxima a faixa da luz visível no espectro eletromagnético.

A radiação infravermelha pode ser medida em 3 faixas conhecidas como:

- infravermelho Curto (comprimento de onda de 0.8 a 1.2 μm);
- infravermelho Médio (comprimento de onda de aprox. 3 - 5 μm); e
- infravermelho Longo (comprimento de onda maior do que 8 μm).

Entre estas três faixas existem lacunas devido às perdas na transmissão atmosférica (H_2O , CO_2 , partículas em suspensão, etc.)

Em testes preliminares tentou-se viabilizar a utilização da faixa de infravermelho Curto, pois os equipamentos nesta faixa tinham custo mais favorável. Porém, após várias experiências, os resultados não foram satisfatórios.

Novos trabalhos investigando a disponibilidade de novos equipamentos de infravermelho tomaram força em 1997 com as usinas Bethlehem Steel nos EUA e Krupp Mannesmann na Alemanha. Os novos resultados obtidos na prática, desta vez utilizando-se a faixa de infravermelho Longo comprovaram a teoria de que a emissividade e a diferença de contraste, as condições de superfície e as perdas na transmissão são mais favoráveis para a detecção utilizando-se a faixa de infravermelho com comprimento de onda longo (>8 μm).

2.1 Emissividade

Na Siderurgia, as emissividades do aço líquido e da escória líquida, numa mesma temperatura, são diferentes. Isto se deve às diferentes composições. A escória contém alguns óxidos tais como CaO , FeO , MnO , SiO_2 e P_2O_5 que determinam a sua maior emissividade (Figura 2).

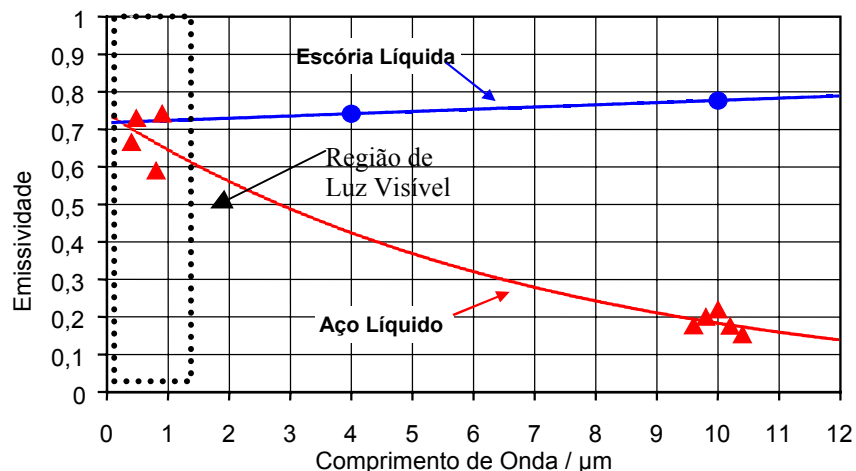


Figura 2: Emissividade versus comprimento de onda.⁽⁹⁾

As diferenças de emissividade entre o aço líquido e a escória líquida podem ser consideradas como diferença de contraste. Esta diferença é muito pequena no espectro da luz visível ao olho humano. Com o aumento do comprimento de onda, esta diferença de contraste também aumenta, até atingir um ponto aproximadamente 5 vezes melhor do que na faixa da luz visível.

Assim, observar o vazamento do aço na faixa de Infravermelho longo é melhor para se distinguir o aço líquido da escória líquida.

2.2 Diferentes Composições e Materiais

A composição do material e as condições da superfície influenciam sobremaneira as características da radiação. Podemos dizer de maneira simplista, que o fluxo de vazamento é não uniforme, e portanto as características de radiação variam. Portanto, um sensor infravermelho deve ser capaz de medir a distribuição da radiação, ao invés de apenas um único nível. Naturalmente, então, o maior contraste entre o aço e a escória fornece uma circunstância ótima para a medição de distribuições variáveis.

2.3 Perdas de Transmissão

A radiação deve se propagar através da atmosfera, que contém partículas de poeira, fumos e vapor de água, o que reduz e dissipa esta radiação. Como já vimos, a Física preconiza que o infravermelho Longo tem menos perdas por transmissão em função da relação comprimento de onda para tamanho de partícula. As perdas por transmissão são reduzidas com uma radiação de comprimento de onda longo. Estas perdas sofrem uma redução brusca, pois elas diminuem a um fator quádruplo em relação ao comprimento de onda utilizado. Novamente é possível constatar que a utilização do infravermelho de comprimento de onda longo fornece a melhor condição de comprimento de onda para tamanho de partícula, otimizando assim a capacidade do sensor.

Um Alarme de Escória confiável é um desafio complexo na aplicação desta tecnologia. Funções de software cruciais foram desenvolvidas especialmente para levar em conta as diferentes condições de meio-ambiente e operação de cada usina, e assim garantir a precisão do alarme de escória.^(3,6-8) Estas funções são realizadas através dos seguintes algoritmos integrados ao sistema:

→ Algoritmo de Rastreamento: Com o movimento do conversor durante o vazamento, a posição do fluxo se move através da área de visualização. É de interesse e necessário avaliar apenas o fluxo do vazamento e não a área inteira da visualização, pois emissões de energia na forma de infravermelho de outras fontes próximas podem causar alarmes falsos.

→ Algoritmo de Plausibilidade: A visão do sensor do fluxo é geralmente sujeita a interferências de material particulado pesado, fumos e chamas gerados na adição de elementos de liga e no enchimento da panela. Estas interferências podem freqüentemente limitar a habilidade do sistema de identificar o fluxo de vazamento. Este algoritmo verifica continuamente a plausibilidade do sinal do sensor. Se o sinal não for consistente, a monitoração do fluxo é desabilitada até esta condição mudar.

→ Algoritmo Limite de Escória Dinâmico: Um sistema de detecção de escória confiável, identifica e compensa as diferentes condições operacionais. Os fatores que influenciam o princípio de medição compreendem: a temperatura do aço durante o vazamento, o canal refratário que afeta a razão massa/energia e as condições de superfície/níveis de emissividade, mudanças na umidade do ar e níveis de poeira. Todos estes afetam a transmissão da radiação infravermelho. Este algoritmo do software identifica as mudanças da emissividade do fluxo de vazamento propriamente dito e também verifica os níveis de transmissão entre o fluxo e o sensor (câmera), ajustando os parâmetros do mesmo de forma a garantir o ajuste ideal constantemente (Figura 3).

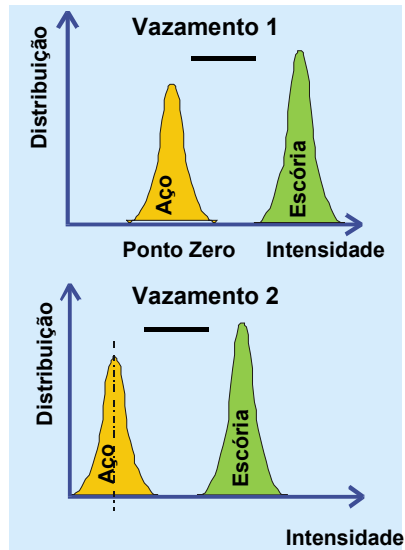


Figura 3: Alteração da Emissividade devido a condição operacional.⁽⁵⁾

→ Algoritmo Melhor Contraste Fluxo:

Para melhorar a visão e interpretação do operador do que vem da câmera infravermelho, o sistema gera um contraste maior entre o aço e a escória. Para se obter isto, o sinal infravermelho é processado no computador central colorindo-se o fluxo. O aço líquido é mostrado num padrão de cores variáveis (azul-vermelho-amarelo) relacionado ao seus níveis de radiação e a escória é apresentada numa cor verde constante (Figura 4). Isto facilita sobremaneira a identificação do fluxo de escória.

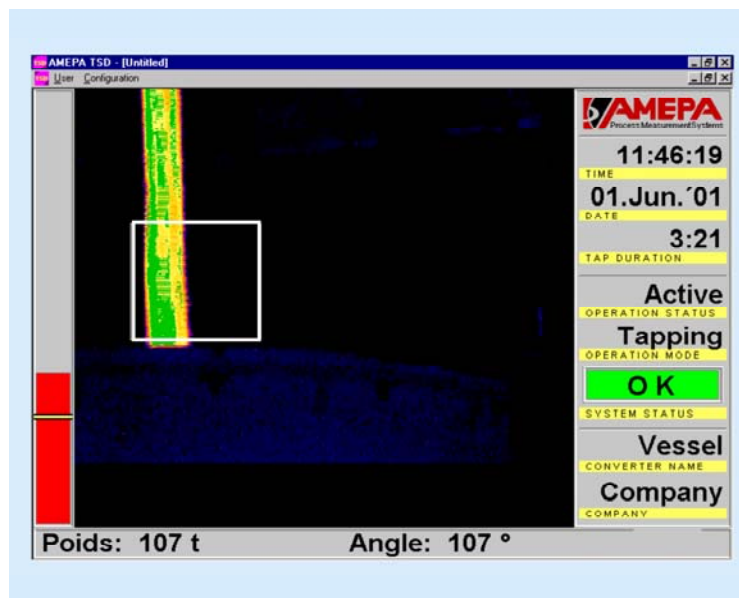


Figura 4: Monitor na cabine de vazamento.⁽⁷⁾

2.4 Índice de Escória

Para estimar a quantidade de escória transferida do conversor para a panela durante o vazamento, a AMEPA implementou uma estrutura de Índices de Escória.⁽⁹⁾ Como a câmera infravermelha consegue ver somente uma parte da superfície do fluxo de vazamento, não é possível uma determinação exata da massa do mesmo. Entretanto estes índices de escória são extremamente úteis no rastreamento de eventos típicos e atípicos no que diz respeito a transferência de escória do conversor para a panela em cada uma das corridas.

Uma estrutura completa de Base de Dados pós-vazamento foi implementada pela AMEPA,⁽⁹⁾ permitindo a gravação dos vazamentos das corridas ao longo do tempo, registro dos Alarmes de Escória, registro de falhas, Índices de Escória, parâmetros de manutenção e informações de diagnóstico. Com uma apresentação padrão “windows” em níveis sucessivos e comandos duplos de mouse, é possível um acesso rápido às informações armazenadas (Figura 5).

The screenshot shows a 'Report Window' with the following data:

Vessel Performance Report

Date	No. of Taps	D. K.	Warnings	Errors
31 May 2001	002	002	001	000
01 Jun 2001	004	004	004	000
02 Jun 2001	025	025	002	000
03 Jun 2001	026	024	002	002
04 Jun 2001	015	015	001	000
05 Jun 2001	023	022	002	001
06 Jun 2001	020	020	000	000
07 Jun 2001	019	019	001	000
08 Jun 2001	020	020	002	000
09 Jun 2001	026	024	002	000
10 Jun 2001	015	015	001	000
11 Jun 2001	023	022	003	000

Heat Performance Report

Charge No.	Start	Duration	TAE	Slag Idx	Pre Idx	Tap Idx	Post Idx	War	Remarks
12345678	09:06:16	03:44	203	0000	00000	00000	00000	01	Deslagging
87654321	09:15:46	02:30	028	0445	00000	00456	00025	00	OK
13254768	09:34:01	02:55	105	0496	00003	00492	00000	01	Tap without Slag Alarm
No_Heat#	09:55:57	14:04	103	0660	00000	00123	00035	00	OK
12345678	10:16:36	05:44	006	0584	00005	00600	00010	00	OK
94153821	10:35:56	05:35	016	0532	00008	00480	00009	00	OK
13255688	10:59:51	05:45	062	0496	00003	00720	00009	00	OK
No_Heat#	11:31:47	06:53	045	0660	00000	00123	00535	00	OK
86545678	11:52:45	05:54	045	0000	00000	00000	00000	00	Deslagging
52958821	12:26:16	02:32	067	0432	00000	00450	00123	00	OK
13658268	13:02:31	06:56	105	0496	00003	00492	00056	00	OK
23345678	13:45:37	07:14	103	0099	00000	00123	00245	00	OK
52445678	14:26:26	06:54	126	0000	00000	00000	00000	01	Deslagging
87654321	15:24:26	03:34	016	0345	00000	00456	00065	00	OK

Figura 5: Base de dados após vazamento.⁽⁵⁾

2.5 Módulo Dardo

O sistema utilizado possui um módulo integrado ao sistema TSD que pode ser utilizado para monitorar (Figura 6) e otimizar o uso de inibidores de vortex (dispositivos de drenagem tais como Dardos, Slag Balls e Tetraedros). Com a visualização ampla do

sistema, é possível estimar a taxa de performance do Dardo, sua eficácia, evidenciando e registrando o histórico e as tendências, o que é muito importante para a otimização de tamanhos e formatos e da prática da sua aplicação.

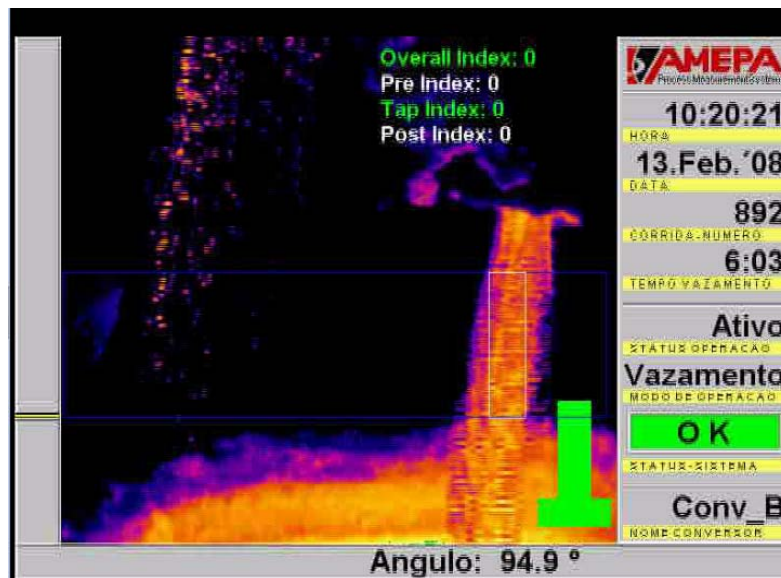


Figura 6: Tela do Módulo Dardo no Sistema CSN

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implantação do Detector Termográfico de Escória ocorrida no processo CSN possibilitou importantes melhorias de processo sintetizadas na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados operacionais após implementação do TSD na CSN

Categoria	Resultado
Desvio de Especificação por Fósforo	-22%
Reversão de Fósforo - SAE 1006	-26%
Rendimento Metálico	Sem Alteração Relevante
Tempo de Resposta do operador	-11%

Como dito anteriormente o sistema desenvolvido pela AMEPA calcula o índice de escória proveniente do conversor para panela. Esse índice é utilizado para comparar a passagem de escória entre corridas. A CSN, com o objetivo de inferir a espessura de escória na panela proveniente do conversor após o vazamento, correlacionou a espessura de escória medida na panela com o índice de escória obtido no vazamento (Figura 7). Os dados, como esperado, revelam que realmente há uma tendência do aumento da espessura de escória na panela com o aumento do Índice de Escória.

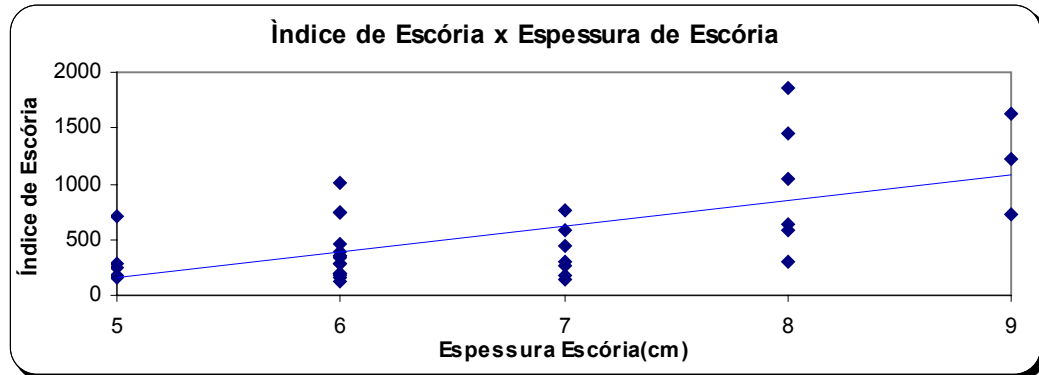


Figura 7: Relação entre Índice AMEPA e Espessura de Escória na Panela no Processo CSN

Outro fato importante a ser citado está o armazenamento das informações de vazamento que possibilitam auxiliar no treinamento de novos operadores, bem como servem de evidência para futuras análises de processo que se façam necessárias.

4 CONCLUSÃO

O Detector de Escória por Infravermelho permite uma melhora na qualidade do aço para o refino secundário através da otimização do processo de vazamento.

A principal motivação da CSN ao adquirir a tecnologia TSD foi minimizar os desvios por fósforo nos aços de rota Forno Panela onde a interação entre metal e escória ocorre de forma intensa. Até o presente momento o desvio por fósforo neste seguimento sofreu uma redução de 16%.

Além desse benefício podem ser citados a redução na reversão de fósforo, menor tempo de resposta do operador e uma rápida estimativa da espessura de escória na panela imediatamente após o fim de vazamento.

O sistema também oferece um suporte de informações que auxiliam na análise do desempenho operacional. O armazenamento de dados por um longo tempo permite a construção de um conjunto de informações para análises estatísticas do processo e servem de base para melhorias.

REFERÊNCIAS

- 1 US Letters Patent No.4, 222,506, "Molten Steel Outflow Automatically Controlling Device", Sakashita, T. and I. Yamazaki (1980)
- 2 Goldstein, D. A.; Sharan, A.; Stofanak, J. A.: "Infra-red Imaging for BOF Slag Detection." 83th Steelmaking Conference Proceedings, 2000, p.331 – 343
- 3 Rau, H.; von Röpenack, I.: "Using thermographic slag detection systems", Stahl und Eisen 121 (2001) Nr. 11, p. 53-56
- 4 N.N.: "NKK, Sumitomo Using New Process in BOF's", Iron & Steelmaker, Nov. 2000 p 8-9.
- 5 Manual Técnico AMEPA – Thermographic Slag Detection
- 6 Wode, S.: "Thermographic Slag Detection", December 2001, Millennium Steel.
- 7 Julius, E.; Bertermann, K.J.: "Advances in Furnace Tapping." ISS 85th Steelmaking Conference Proceedings.

- 8 Carss, S., et al.: "Slag Detection in the Tapping Stream using Thermal Imaging.", 3rd European Oxygen Steelmaking Conference, Pre-Prints, p. 319 - 328, Oct. 2000, Birmingham, UK
- 9 Bertermann, K.J.: "Advances in Infrared Slag Detection." 2001 AISE Convention.