

INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE ESCÓRIA NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DA VILLARES METALS.*

Eriberto Pereira Giardini Filho¹
Mario Cesar Mantovani²
Robson Leandro Silva³
Bruno Pessoa Ramos⁴
Paulo Augusto de Oliveira⁵
Leandro Barros de Figueiredo⁶

Resumo

O controle de passagem de escória da panela para o distribuidor no lingotamento contínuo tem papel fundamental na garantia da qualidade e produtividade. O presente trabalho tem por objetivo apresentar os ganhos de qualidade e produtividade obtidos pela Villares Metals após a instalação do sistema de detecção de escória por vibração. Para isso, foram utilizadas 250 corridas industriais dos aços S65007 e S64004. Todas as barras produzidas nessas corridas foram inspecionadas, prática padrão na empresa, aquelas que apresentaram reprova por inclusão foram caracterizadas e seus resultados são apresentados nesse trabalho, bem como os ganhos de qualidade e produtividade.

Palavras-chave: Detector; Escória; Lingotamento Contínuo; Inclusão.

INSTALLATION AND OPERATION OF SLAG DETECTOR SYSTEM IN VILLARES METALS' CONTINUOUS CASTING.

Abstract

The control of the slag carryover from the ladle to the tundish in continuous casting is a fundamental role in quality assurance and productivity. The objective of the present work is to present the gains of quality and productivity obtained by Villares Metals after the installation of slag detector system by vibration method. It were used 250 industrial heats of S65007 and S64004 steels grades. It were inspect the bars produced in these heats, standard practice in the company, and the ones that presented of inclusion were characterized and their results are presented in this work, as well as the quality gains and productivity.

Keywords: Detector; Slag; Continuous Casting; Inclusions.

¹ Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processos, Dep. de Engenharia de Processos, Villares Metals S.A., Sumaré, SP.

² Membro da ABM, Doutor em engenharia metalúrgica, Pesquisador, Dep. Pesquisa e Desenvolvimento, Villares Metals S.A., Sumaré, SP.

³ Engenheiro metalurgista, Engenheiro de Processos, Dep. de Engenharia de Processos, Villares Metals S.A., Sumaré, SP.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Diretor da Aciaria, Aciaria, Villares Metals S.A., Sumaré, SP.

⁵ Engenheiro Metalurgista, Gerente de Processos, Dep. Engenharia de Processos, Villares Metals S.A., Sumaré, SP.

⁶ Engenheiro de Controle e Automação, Engenheiro de Controle e Automação, Dep. de Manutenção, Villares Metals S.A., Sumaré, SP.

1. Introdução

A crescente demanda por aços cada vez mais limpos e a busca constante por elevada produtividade e rendimento, tem levado os aciaristas a adotarem controles e técnicas de modo a alcançar tais objetivos. A aciaria da Villares Metals conta com dois fornos elétricos a arco de 35 e 25 toneladas, dois fornos panela, um VD (Vacuum Degassing), um VOD (Vacuum Oxygen Descarburization), além de uma área para lingotamento convencional e uma máquina para lingotamento contínuo. O lingotamento contínuo consiste em uma máquina de um veio com seção quadrada de 145x145mm. Nesta máquina são produzidos aços inoxidáveis austeníticos, martensíticos, duplex, super-duplex, aços válvula austeníticos e martensíticos, além de ligas base níquel.

Em agosto de 2013 foi instalado o sistema de detecção de escória no lingotamento contínuo, visando a melhoria de qualidade e aumento do sequenciamento de corridas. Este trabalho mostrará os ganhos de qualidade e produtividade obtidos com a instalação do sistema de detecção de escória por vibração.

2. Sistemas de controle de passagem de escória da panela para o distribuidor

Na última década o nível de automação e desenvolvimento em controle de processo tem avançado rapidamente em todos os segmentos da indústria. No setor siderúrgico esse desenvolvimento vem em resposta à crescente demanda por aços cada vez mais limpos e com menor custo. Dentre as práticas operacionais que foram automatizadas destaca-se o controle de passagem de escória. Segundo Chakraborty [1] essa era feita com base na sensibilidade e experiência dos operadores ou mesmo de forma visual de acordo com Trotter [2], sendo que esses métodos não atendem aos padrões atuais de exigência de qualidade e produtividade esperados para o lingotamento contínuo. Atualmente no mercado existem algumas soluções para o controle de passagem de escória da panela para o distribuidor, sendo que dois métodos se destacam, aquele que utiliza campo eletromagnético e outro baseado na diferença das condições de vibração, os quais serão detalhados a seguir.

2.1 Sistema eletromagnético de detecção de escória.

O sistema de detecção de escória através de campos eletromagnéticos de corrente alternada foi um dos primeiros sistemas implementados com sucesso no mercado, sendo uma tecnologia bastante difundida e que apresenta bons resultados quanto à melhoria de qualidade e produtividade [1][3]. O sistema é composto por duas bobinas dispostas de forma concêntricas instaladas próximas ao conjunto de válvula gaveta das panelas. Uma das bobinas é responsável por gerar o campo eletromagnético de corrente alternada e a outra por ser o receptor, essas geram uma corrente parasita com o aço líquido que está fluindo pela válvula da panela [4]. Segundo T. Wolfgang [4] a amplitude e distribuição geométrica das correntes parasitas no aço dependem da distribuição da condutividade elétrica no fluxo de aço. Quando há passagem de escória essas correntes são afetadas devido a diferença de condutividade entre o aço e a escória, enviando assim uma tensão diferente para o receptor. Quando se detecta essa diferença de tensão o sistema de válvula gaveta é acionado automaticamente, encerrando-se o fluxo de aço da panela para o distribuidor imediatamente.

Esse sistema quando comparado com o sistema por vibração apresenta a vantagem de não sofrer interferências do ambiente, o que é um ponto importante, tendo em vista as inúmeras fontes de vibrações existentes em uma aciaria. Por outro lado, o sistema eletromagnético de detecção de escória é um método intrusivo que necessita de modificações nas painéis, possui um custo maior de instalação, uma vez que é necessário instalar o sistema em todas as painéis. O sistema também possui maior custo de manutenção devido ao fato de estar inserido no refratário da painela [1], além disso não é possível realizar um reparo em caso de danos ao sistema durante a produção, sendo necessário a retirada da painela do ciclo produtivo.

2.2 Sistema de detecção de escória por vibração.

O sistema de detecção de passagem de escória por vibração tem como seu princípio de funcionamento a diferença das condições de vibração durante a passagem de aço e de escória [5]. O sistema capta as vibrações da passagem do aço pelo tubo longo através de um acelerômetro tri-axial, extremamente sensível, acoplado ao manipulador do tubo longo (Figura 1) [5]. Essas vibrações são enviadas para um computador que filtra e as interpreta com o auxílio de um software. Através dessa análise é possível detectar a formação de vórtex, bem como o início da passagem de escória e atuar em uma fração de segundos para cessar o fluxo e evitar a contaminação do aço no distribuidor com a escória proveniente da painela. O fechamento da válvula gaveta pode ser feito de forma automática, através de um sistema de automação simples entre o detector e a válvula gaveta ou de forma manual com a intervenção do operador.



Figura 1. Posição típica do acelerômetro (círculo vermelho) acoplado ao sistema de sustentação do tubo longo. [5]

Além disso, o sistema de detecção de escória geralmente é fornecido junto com uma câmera (Figura 2(a)) [6] para visualização do aço dentro do distribuidor (Figura 2(b)) [6]. Essa câmera funciona como verificação final da passagem de escória, uma vez que a mesma é menos densa que o aço, ficando evidente pela câmera quando ocorre a passagem de uma quantidade considerável de escória.

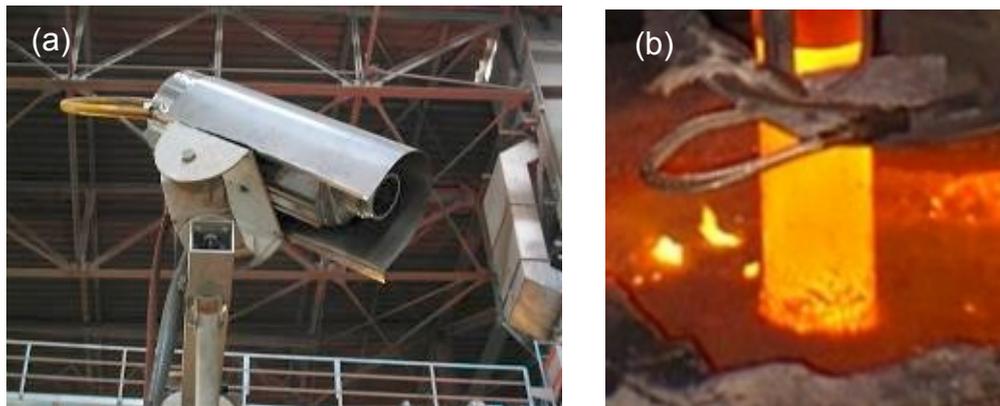


Figura 2. (a) Câmera que compõe o sistema de detecção de escória [6]; (b) Imagem do aço no distribuidor fornecida pela câmera do sistema de detecção de escória [6].

O sistema de detecção de escória pode ser aplicado com diferentes perspectivas, visando aumento de produtividade e/ou a melhoria de qualidade. Dentre as vantagens desse sistema quando comparado com de detecção eletromagnética, estão facilidade de instalação e manutenção, menor custo do equipamento e maior vida útil do sistema [7]. Apesar das inúmeras vantagens o sistema de detecção por vibração apresenta uma desvantagem significativa em relação ao sistema eletromagnético. Devido ao acelerômetro extremamente sensível, este pode sofrer influência do ambiente, como por exemplo, vibrações oriundas da movimentação das pontes rolantes, o que pode originar sinais falsos, ocasionando sobra de aço na panela ou até mesmo a passagem de escória para o distribuidor.

A Villares Metals adquiriu o sistema de detecção de escória por vibração em 2013, tendo como objetivos a melhoria de qualidade e aumento do sequenciamento de corridas. A opção pelo sistema baseado nas condições de vibração foi motivada pelo fato de ser um método não intrusivo, não sendo necessárias modificações em todas as panelas para sua instalação. Uma vez que a produção maior parte da produção da empresa é via lingotamento convencional, também podemos destacar o menor custo de instalação e manutenção, além disso foram visitadas algumas empresas nos Estados Unidos onde o sistema já era utilizado com sucesso.

3. Materiais e Métodos.

3.1. Aços S65007 e S64004.

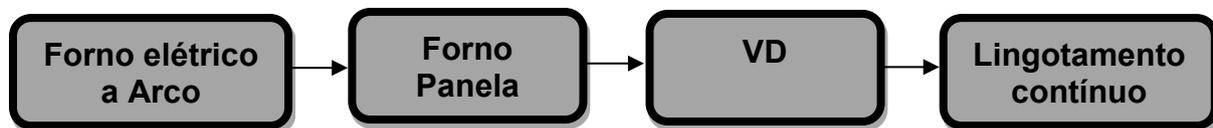
No presente estudo foram utilizadas 250 corridas industriais, sendo 150 corridas do aço válvula S65007 e outras 100 corridas do S64004 (aço válvula) produzidas na aciaria da Villares Metals, cujas composições químicas típicas são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Composição química típica do aço S65007 e S64004.

Composição química (%)				
Aço	C	Si	Cr	Mn
S65007	0,45	3,30	8,50	0,40
S64004	0,51	1,50	8,50	0,40

As corridas foram produzidas na aciaria da Villares Metals através do fluxo de produção mostrado na Figura 3.

Figura 3. Fluxograma de produção do aço S65007 e S64004 na Aciaria da Villares Metals.



3.2 – Modo de detecção e análise das inclusões.

A Villares Metals é uma empresa que presa pelo alto padrão de qualidade dos seus produtos, por isso são utilizados vários equipamentos para inspeção e análise de falhas dos aços, visando evitar que algum problema interno afete seus produtos. O equipamento (ultrassom) utilizado para a inspeção das barras dos aços S65007 e S64004 foi o MAC UT 300 - FD-4, mostrado na Figura 4(a). Este equipamento pode inspecionar barras com diâmetros de 19,05mm até 76,20mm e com comprimento podendo variar de 1 a 6 metros à uma velocidade de 0,7m/s.

O equipamento detecta defeitos localizados internamente e superficialmente nos materiais. A inspeção é realizada em barras redondas com acabamento superficial descascado, retificado ou mesmo barras brutas. Essa máquina trabalha com sistema rotativo utilizando sondas de ultrassom. As barras a serem inspecionadas são transportadas longitudinalmente e passam através do sistema rotativo de ultrassom, as que contém defeitos internos ou superficiais ao passarem através das sondas geram um pulso ultrassônico, de modo que o software do equipamento junto com a sua automação registram o defeito em uma tela conforme mostrado na Figura 4(b), nessa está especificado a posição real do defeito na barra.

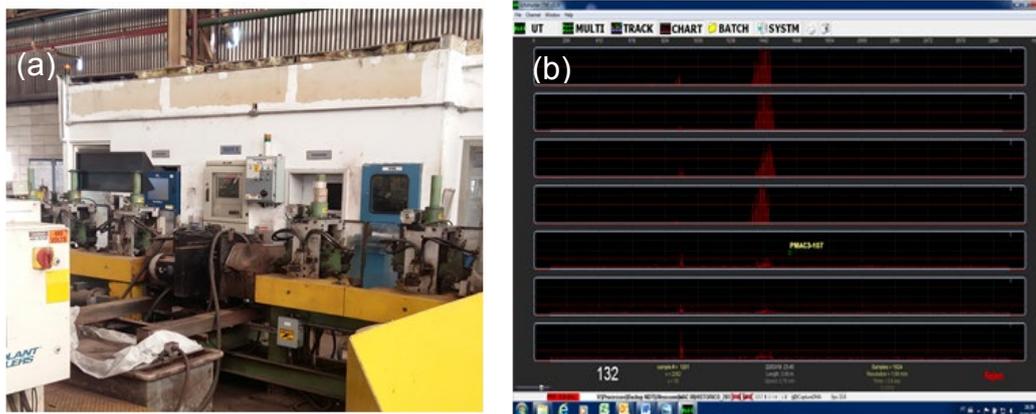


Figura 4. (a) imagem do equipamento de inspeção por ultrassom (b) exemplo da tela de registro da inspeção.

As macroinclusões eventualmente encontradas foram caracterizadas utilizando-se a microsonda modelo JEOL JXA-8230, equipada com sistema de detecção por EDS e WDS.

3.3 Sistema de detecção de passagem de escória da panela para o distribuidor.

O sistema de detecção de escória, SlagTracker NWST13, opera a uma frequência 50/60Hz com uma voltagem de 120/240VAC. Esse sistema utiliza as condições de vibração como princípio para detecção de passagem de escória da panela para o distribuidor no lingotamento contínuo. O sistema é composto por um acelerômetro tri-axial que é instalado no manipulador do tubo longo, como mostrado na Figura 5. O acelerômetro é responsável por captar as vibrações, essas então são enviadas para o software responsável por filtrar as vibrações provenientes do ambiente, enviando para a interface de controle do sistema apenas as vibrações referentes a passagem de aço e escória. É importante destacar que durante a instalação do equipamento são feitas simulações na área onde será instalado o acelerômetro, para detectar diferentes situações que geram falsas vibrações. Essas falsas vibrações são então desconsideradas para análise da passagem de escória pelo software do sistema de detecção de escória.



Figura 5. Acelerômetro acoplado ao manipulador do tubo longo da Villares Metals.

O sistema de detecção de passagem de escória combina dois tipos de vibrações em sua análise, as de alta e baixa frequência, para determinar a passagem de aço, de escória ou até mesmo a formação de vórtex. (Figura 6)

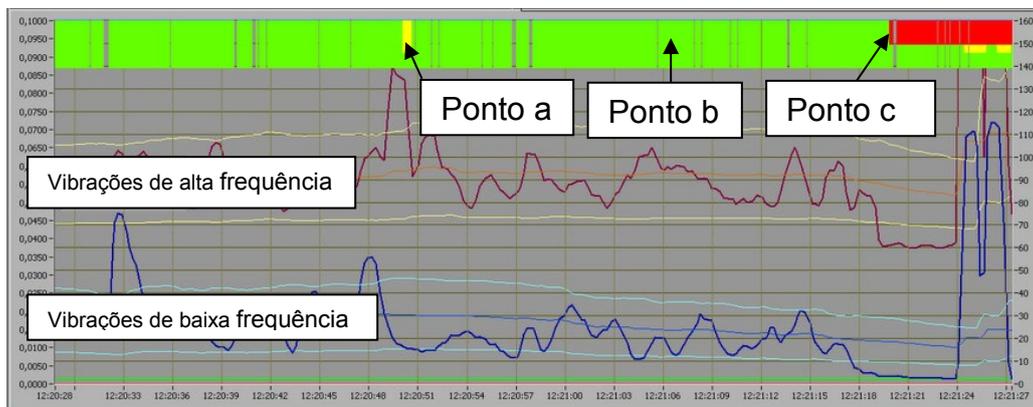


Figura 6. Representação gráfica das vibrações de baixa e alta frequência, onde são apresentadas as situações de (a) formação de vórtex (b) fluxo normal de aço (c) alarme de detecção de escória.

As três situações possuem características singulares de vibrações que permitem diferenciá-las. Quando há formação de vórtex nota-se um alerta amarelo como mostra a Figura 6 (ponto a), esse é gerado todas as vezes em que há um aumento nas vibrações de alta e baixa frequência, elevando-as acima das linhas médias por um determinado período de tempo. Na Figura 6 (ponto b) o sinal verde indica que está havendo apenas passagem do aço, as vibrações permanecem constantes, dentro das linhas que correspondem às médias. O sinal de escória é identificado pela cor vermelha (Figura 6 – ponto c), que ocorre quando há uma queda nas duas frequências de vibrações por um determinado intervalo de tempo. Esse intervalo de tempo é responsável por determinar a velocidade de reação do sistema para a detecção de escória, podendo esse ser maior ou menor de acordo com critério de qualidade estabelecido para o aço. O tempo pode ser modificado de acordo com a necessidade e objetivo da utilização do sistema de detecção.

A interface do sistema de detecção de escória é personalizada e definida de acordo com a necessidade de cada empresa. A Figura 7 mostra a interface utilizada pela Villares Metals. Além dos gráficos com as frequências de vibração, são exibidas também outras informações importantes para os operadores, como o nome do aço, número da corrida, peso do aço na panela, peso de aço no distribuidor e a imagem da câmera que compõe o sistema de detecção de escória, ou seja, todas as informações relevantes para o controle de passagem de escória da panela para o distribuidor estão disponíveis de forma clara para os operadores.

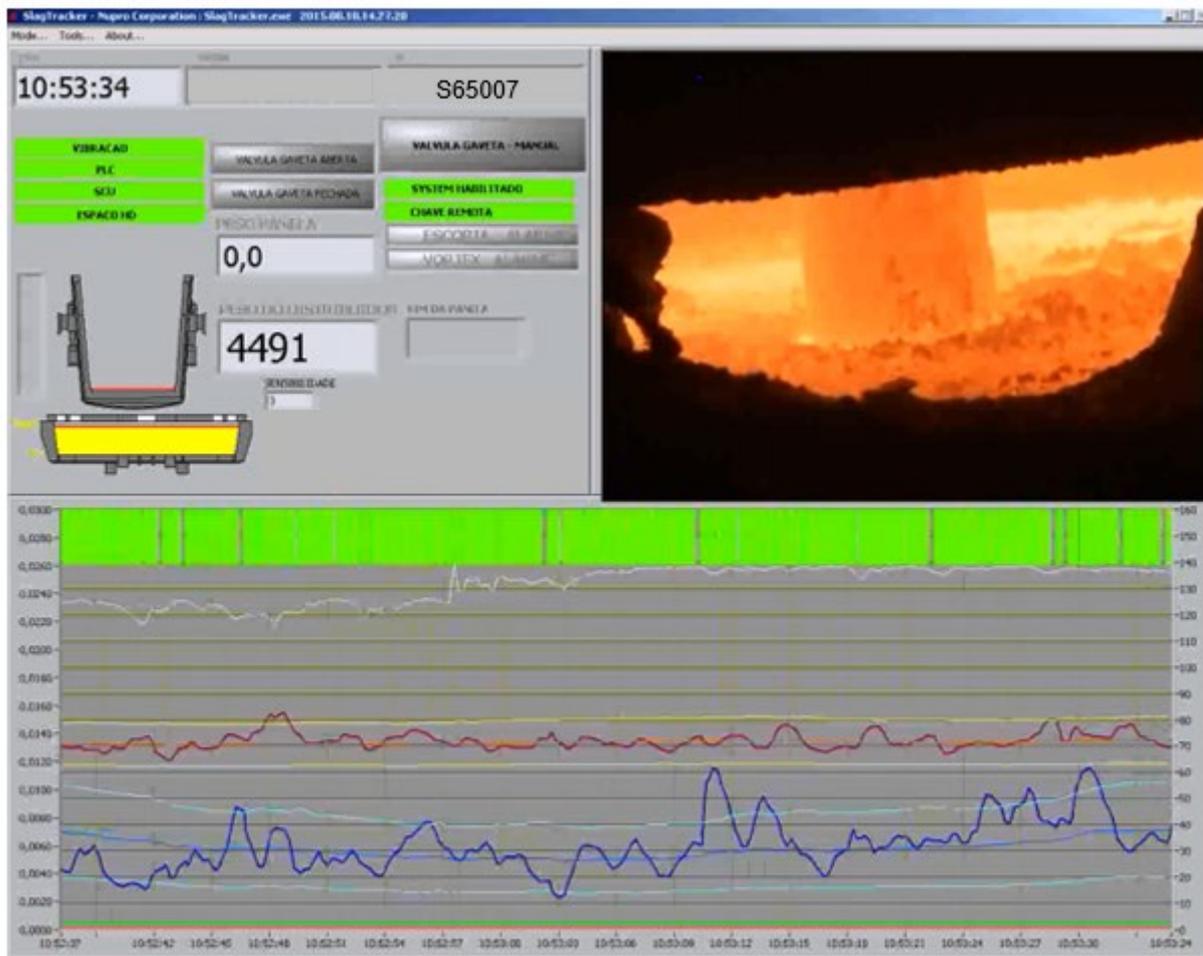


Figura 7. Tela do supervisor do detector de escória da Villares Metals.

Além de todos esses dados para o controle de passagem de escória o sistema ainda conta com uma câmera (Figura 8(a)). Essa funciona como a última verificação a ser realizada pelo operador, visando garantir que não houve passagem de escória da panela para o distribuidor. Ela exibe as imagens do metal líquido dentro do distribuidor (Figura 8(b)). Como a densidade da escória é menor que a do aço, quando ocorre a passagem de uma quantidade significativa de escória, tal situação é facilmente identificada pelo operador através da imagem, pois ela emerge no entorno do tubo longo. Todos os dados coletados nos dois minutos anteriores ao alarme de escória e acionamento da válvula gaveta, são salvos em arquivos organizados por data e número de corrida, de forma a serem facilmente consultados para uma futura análise de processo ou mesmo para reavaliar a condição do distribuidor ao final de um sequenciamento.

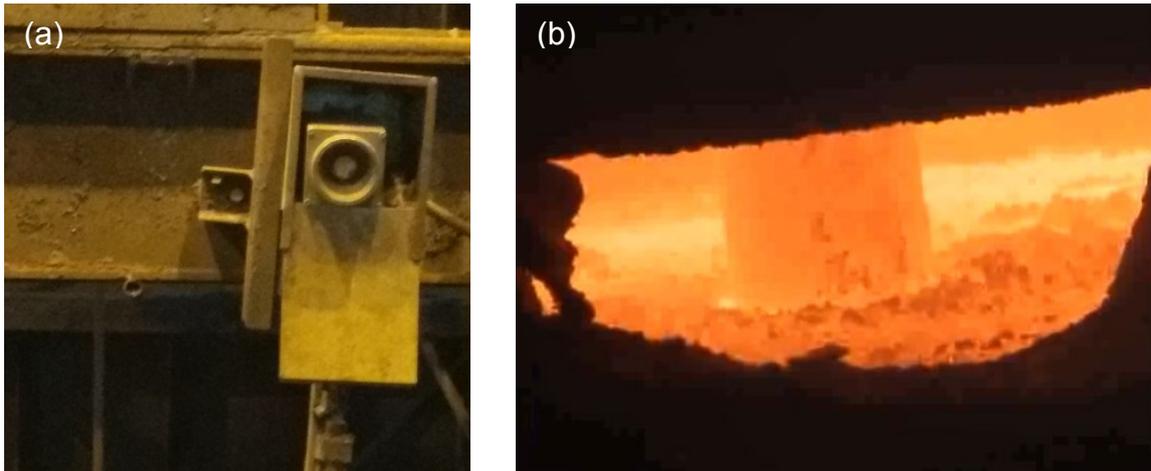


Figura 8. (a) Câmera do sistema de detecção de escória da Villares Metals e; (b) imagem do aço no distribuidor gerada pela câmera do sistema de detecção.

4 – Resultados e Discussão.

Os aços S65007e S64004 produzidos via lingotamento contínuo durante a etapa de refino secundário utilizam uma escória do sistema $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}$. As macroinclusões encontradas até agosto de 2013, apresentavam composição química similar à da escória, como mostrado na figura 9.

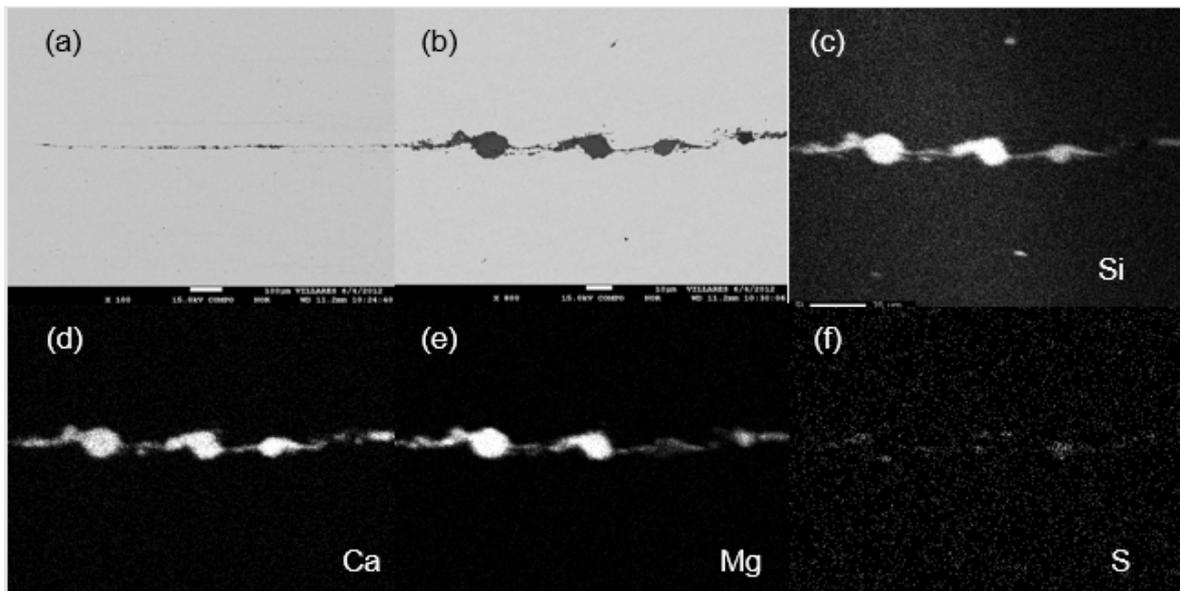


Figura 9. Análise via microscopia eletrônica de varredura (MEV) de uma macroinclusão encontrada numa barra inspecionada por ultrassom (aço S64004). (a) e (b) imagens por elétrons retroespalhados e; (c) à (f) mapeamento por WDS (wavelength dispersive spectroscopy).

Após determinar que a principal fonte das inclusões encontradas nos aços S65007 e S64004 são provenientes da passagem de escória da panela para o distribuidor, a Villares Metals na sua busca pela excelência na qualidade, investiu no sistema de detecção de escória por vibração, até então, as detecções de escória entre os sequenciais eram feitas de forma manual, contando sempre com a experiência dos

nossos colaboradores. O método manual para detecção de escória não consegue garantir a estabilidade do processo, de modo que os sequenciais para os aços citados anteriormente eram limitados em duas corridas. O detector de escória por vibração garante a mínima passagem de escória com o melhor rendimento metálico nas corridas durante os sequenciais e, ao detectar a queda de vibração e o fim do aço na panela, encerra o fluxo de aço como mostra a figura 10.



Figura 10. Exemplo de detecção de escória durante o lingotamento de uma corrida do aço S65007.

Após a implementação do sistema de detecção de escória em agosto de 2013, o índice (valor médio) de refugo por macroinclusão para o aço S65007, na segunda corrida do sequencial, saiu de 1,69% para 0,06%, enquanto que para o aço S64004 saiu de 3,12% para 0,37%, como mostra a figura 11.

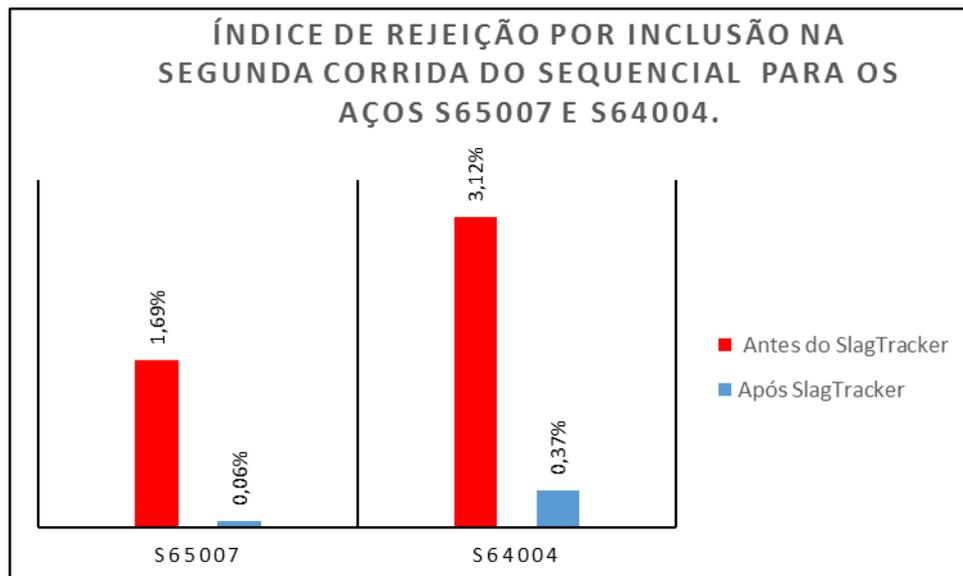


Figura 11. Índice de rejeição por macroinclusão da segunda corrida do sequencial para os aços S65007 e S64004.

Além disso, a instalação do sistema de detecção de escória possibilitou o aumento do sequencial de duas para três corridas para o aço S65007, com um índice de refugo na terceira corrida de 0,16%. Outro ponto que deve ser destacado nesse trabalho é o ganho em segurança, uma vez que não é necessário que o operador fique exposto para garantir o controle de passagem de escória, pois agora ele consegue operar o detector e o sistema de válvula gaveta de dentro da sala de controle do lingotamento contínuo, através do supervisor do detector de escória.

5 - Conclusão

A instalação do sistema de detecção de escória por vibração proporcionou ganhos de qualidade e produtividade comprovados, com a redução no índice de refugo por macroinclusão para os aços S65007 e S64004, cujos índices passaram de 1,69% para 0,06% para o aço S65007 e de 3,12% para 0,37% para o aço S64004. Houve também um aumento no número de corridas sequenciadas, de duas para três (aço S65007), apresentando um índice de rejeição por macroinclusão nesta terceira corrida de apenas 0,16%.

REFERÊNCIAS

1. Chakraborty B, Sinha BK. Development of Caster Slag Detection System Through Imaging Technique. Int.J. Instrumentation Technology.2011, Vol.1, No.1:84-91.
2. Trotter DJ, Duncan G, Camplin JM. Development of a Ladle-Tundish Slag Detector. Steelmaking Conference Proceedings, Washington DC, April 14-17.1991; 74:743-746.

3. AMEPA Process Measurement System[página da internet]. Würselen, AMEPA GmbH,2015 [acesso em 13 abril de 2018]. Disponível em <http://amepa.de/en>.
4. Wolfgang T. The Ultra slag droplet detector. Millennium Steel. [página da internet]. Londres, Millennium Steel, 2004 [acesso em 05 de abril de 2018]. Disponível em <http://www.millennium-steel.com/archives/category/2004-international/page/4>.
5. Takács G, Ondrejko K, Hulko G. A Low-cost Non-invasive Slag Detection System for Continuous Casting. IFAC-PapersOnLine. 2017,50:438-445.
6. Nupro Corporation Steelmaking Process Tecnology [página da internet]. Lewiston: Nupro Corporation, 2018 [acesso em 15 de abril de 2018]. Disponível em: <http://www.nuprocorp.com>.