

AJUSTE DA LÓGICA DE CANTO DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE ROMPIMENTO DE PELE NAS MÁQUINAS DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DAS ACIARIAS DA USIMINAS*

Alexandre de Freitas Gomes de Mendonça¹

Rafael Fernandes Reis²

Gilberto Henrique dos Reis Marçal³

Resumo

No molde da máquina de lingotamento inicia-se a formação de uma pele sólida que sustentará o núcleo líquido ao longo da máquina. O rompimento dessa pele (*breakout*) representa um dos maiores problemas no lingotamento contínuo por vaziar o aço líquido no interior do veio. Essa ocorrência oferece risco às pessoas, interrompe o veio, sucateia produto, danifica e indisponibiliza o equipamento momentaneamente. Para evitar tal evento, o sistema de detecção de rompimento de pele reduz a velocidade de lingotamento quando certos critérios de variação de temperatura no interior do molde são atendidos. Dependendo da sensibilidade, o sistema pode atuar desnecessariamente reduzindo a velocidade sem que haja risco de *breakout*, caracterizando alarmes falsos. Na Usiminas, a lógica de canto apresentava inúmeros alarmes falsos, que geravam reprogramação do comprimento de placa e sucateamento de material afetado pelo duplo lingotamento. Com a atualização dos parâmetros do alarme de canto foi possível reduzir o número de alarmes em 80,3% e evitar o sucateamento de aproximadamente 105 toneladas de aço por mês, sem perda de eficiência na detecção dos alarmes verdadeiros.

Palavras-chave: Lingotamento contínuo; Estabilidade operacional; Sistema de prevenção de rompimento de pele; Alarme de canto.

CORNER LOGIC ADJUSTMENT OF THE BREAKDOWN DETECTION SYSTEM IN CONTINUOUS CAST MACHINES AT USIMINAS STEELMAKING SHOPS

Abstract

In the casting machine mold begins the formation of a solid shell that support the interior core liquid along the machine. The breakup of this skin represents one of the major problems in continuous casting by pouring liquid steel into the strand. This is a risk to people, as well as interrupts the sequence, scraps product, damages and makes the equipment unavailable momentarily. To prevent this event, the Breakout Detection System (BDS) reduces the casting speed if a certain temperature variation occurs in the mold. Depending on the sensitivity, the system can act unnecessarily reducing the speed without a risk of breakout, characterizing false alarms. At Usiminas, the corner logic presented numerous false alarms, which led to a reprogramming of the slab length and scraping of material affected by double casting. By updating the corner alarm parameters, it was possible to reduce the number of alarms by 80,3% and to avoid approximately 105 tonnes of scrapping per month, without loss of efficiency in the detection of true alarms.

Keywords: Continuous casting; Operational stability; Breakout detection system; Corner alarm.

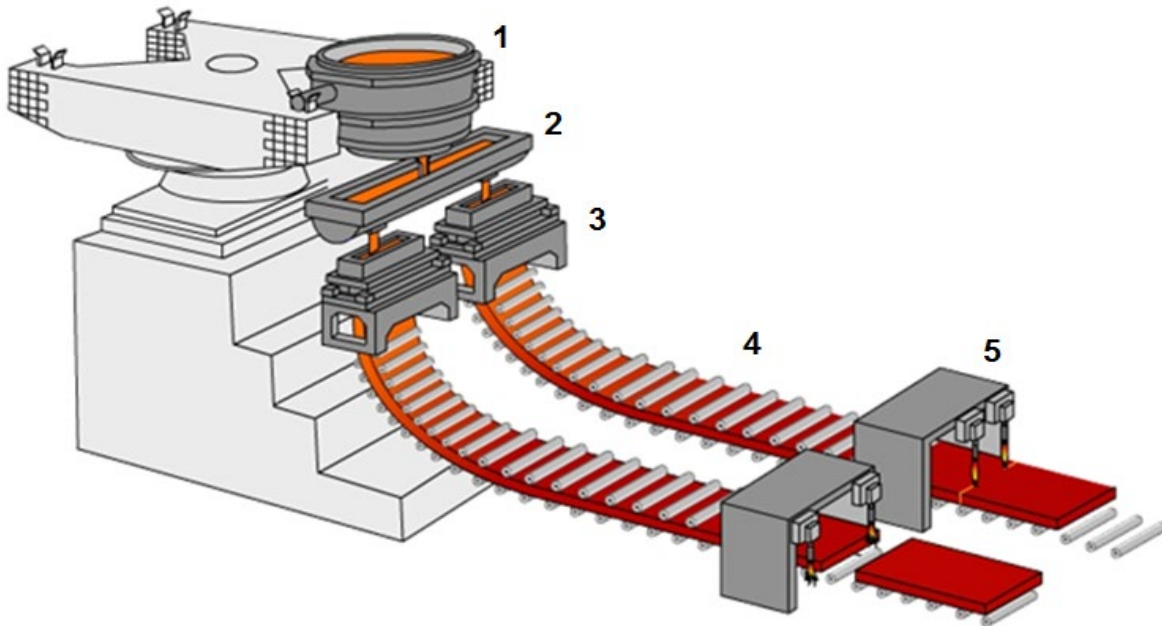
¹ Engenheiro Metalurgista, Mestre em Metalurgia Extrativa, CQE/ASQ, Engenheiro de Produção Sr., Gerência Técnica de Aciaria, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil, alexandre.freitas@usiminas.com.

² Engenheiro Metalurgista, Pesquisador Pleno, Pesquisa e Desenvolvimento, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Sistema de Informação, Analista de Automação Pleno, Engenharia de Manutenção de Ipatinga, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O lingotamento contínuo é um método produtivo e eficiente na produção de aço. No Brasil 98,7% do aço é produzido por lingotamento contínuo, segundo dados de *World Steel Association* [1]. Ele é o processo responsável por transformar o aço líquido em placas sólidas. Na Figura 1 é ilustrada uma máquina de lingotamento contínuo de dois veios de forma esquemática.



1. Panela; 2. Distribuidor; 3. Molde; 4. Rolos de suporte e extratores; 5. Máquina de corte de placas.

Figura 1. Desenho esquemático da máquina de lingotamento contínuo [1].

Para a solidificação controlada, o aço líquido é vazado dentro de um molde de cobre que é refrigerado por água [2]. Dentro do molde, devido ao contato com a sua superfície, o aço é solidificado, formando uma fina camada sólida chamada pele. Para reduzir o atrito do aço com o molde, é utilizado pó fluxante para lubrificar a interface aço/molde e controlar a extração de calor. Além disso, o molde é oscilante, o que ajuda ainda mais a reduzir o atrito e o agarramento. À medida que o aço passa pelo molde, a espessura da pele aumenta. Ao sair do molde, a pele deve ter uma espessura tal que suporte a pressão ferrostática do aço líquido dentro da placa, confinando assim o aço líquido em seu interior. Se a pele não suportar essa pressão, ela se rompe depois de sair do molde e o aço líquido presente no interior da placa vaza, danificando os rolos, bicos de spray e outros equipamentos da máquina de lingotamento contínuo. A esse fenômeno de rompimento da pele seguido de vazamento do aço líquido do interior da placa é dado o nome de *breakout* [3]. O *breakout* causa risco à segurança das pessoas envolvidas, perda de produção, sucateamento de produto, danifica e indisponibiliza momentaneamente o equipamento.

O *breakout* pode ser causado por desvios de natureza procedimental, operacional, qualidade das matérias-primas, falhas eletromecânicas do equipamento ou combinações desses fatores. Para reduzir a chance de esse evento ocorrer, o uso de um Sistema de Detecção de *Breakout* (SDB), ou *Breakout Detection System*, é aplicado com êxito desde que bem dimensionado e ajustado aos parâmetros metalúrgicos do processo.

O SDB associa o comportamento das temperaturas do molde, medidas por termopares, a um padrão pré-definido no sistema. Se os critérios de definição do *breakout* são

atingidos, o alarme é disparado e a máquina de lingotamento reduz automaticamente a sua velocidade de operação para uma condição segura. Essa redução de velocidade gera perda de produtividade na aciaria como efeito colateral.

O SDB das máquinas de lingotamento da Usiminas de Ipatinga possui várias lógicas para monitorar potenciais *breakouts* e anomalias térmicas no molde, dentre elas destacam-se a de colamento [4] (potencial e confirmado), de canto (ou penetração) e a de superfície. Cada lógica possui independência de monitoramento, ação e forma específica de atuação. Na Usiminas, o modelo de detecção de colamento de pele das máquinas foi substituído em 2010. Nessa substituição, essa lógica, que monitora o molde em 360°, passou a operar em um ambiente de máquina de aprendizado e autômato finito [5]. Em contrapartida, a lógica de canto atua somente nas faces estreitas do molde, monitorando variações bruscas de temperatura induzidas por ruptura da quina da placa ou perfuração nessa região. Na Figura 2(a) é discriminada a região de interesse do alarme de canto no molde, e na Figura 2(b), um exemplo de fluxo de aço líquido no interior do molde enfatizando o direcionamento do jato de aço da saída da válvula submersa para a região de foco da lógica de canto.

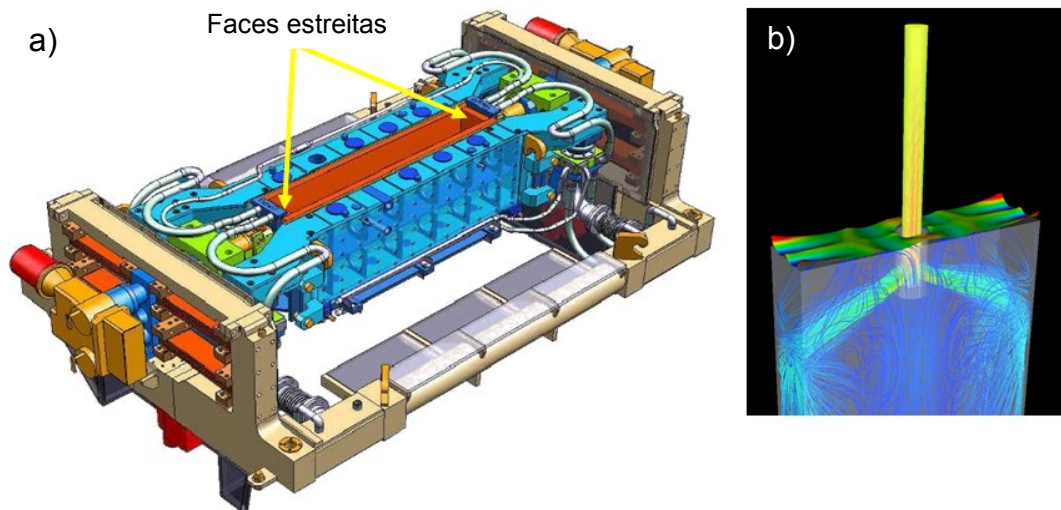


Figura 2. Molde montado na mesa da máquina de lingotamento contínuo (à esquerda) e fluxo de aço na face estreita do molde (à direita) [2].

Como exemplo prático de atuação da lógica de canto do SDB, na Figura 3 é exibido uma penetração de aço [6] entre as faces larga e estreita do molde capaz de rasgar a quina da placa e induzir um alarme benéfico à integridade do equipamento.

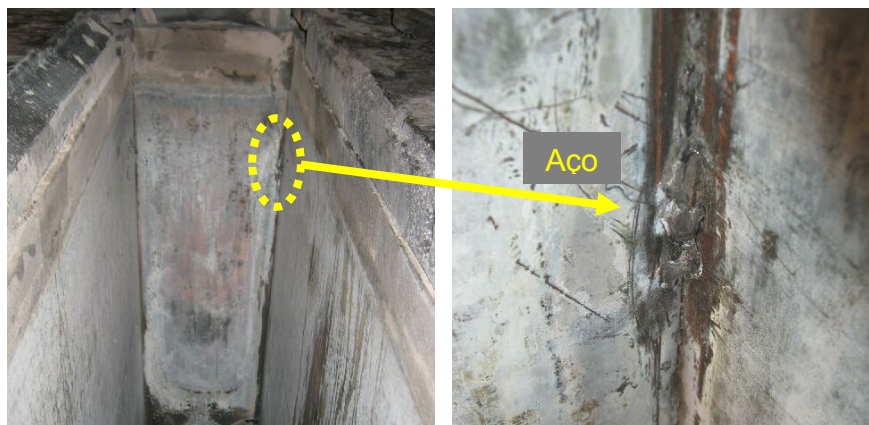


Figura 3. Face estreita de molde (à esquerda) com detalhe da penetração de aço entre as faces larga e estreita de molde (à direita).

Assim sendo, no momento em que a lógica de canto é ativada, a velocidade de lingotamento é reduzida via comando do PLC, como esboçada na Figura 4.

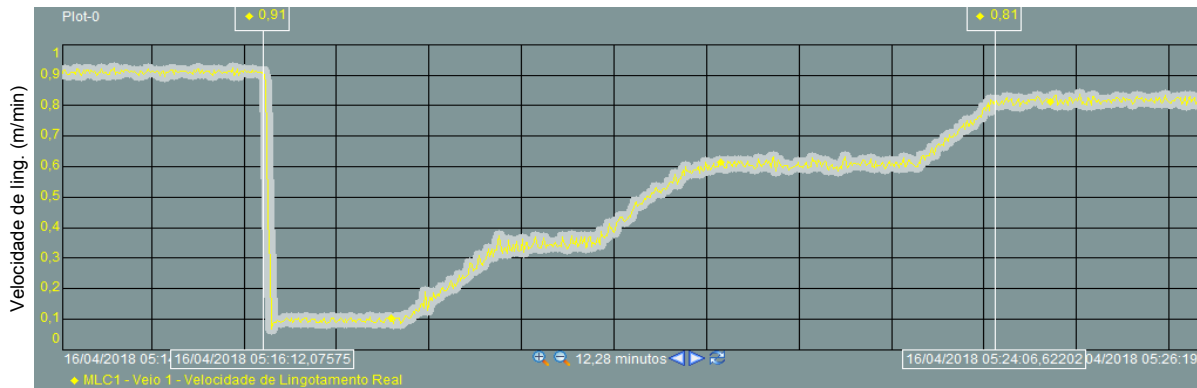


Figura 4. Redução de velocidade de lingotamento imposta ao veio devido ao alarme de canto.

Essa ocorrência sintetiza o comportamento geral da velocidade de lingotamento no intervalo de tempo pertinente ao alarme de canto. Ao ser acionado, a velocidade de lingotamento reduz para 0,10 m/min, e após certo tempo de segurança nessa velocidade, a velocidade volta a subir gradativamente até alcançar a velocidade de processo. Por essa perspectiva, a velocidade média para um ciclo do alarme de canto é de 0,41 m/min.

Com o desenvolvimento do novo módulo da lógica de colamento do SDB em 2010, foi necessário definir a curva característica de agarramento pelo discernimento de um alarme de colamento verdadeiro de um falso, e nesse processo, e em paralelo, foi verificada uma alta frequência de placas com alarmes de canto onde não existia evidência física que tais alarmes efetivamente evitaram um *breakout*. Com base nessa observação, e após a finalização da etapa de validação da lógica de colamento, deu-se início ao estudo da redução dos alarmes de canto.

Como contextualização histórica, na Figura 5 é apresentado graficamente um resumo da frequência média dos alarmes de canto (para a taxa BASE de disparo, *default*), mês a mês para os anos de 2012 e 2013, expresso em número de alarmes de canto para cada mil toneladas de placas produzidas nas máquinas de lingotamento 1, 2 e 4 das Aciarias da planta de Ipatinga.

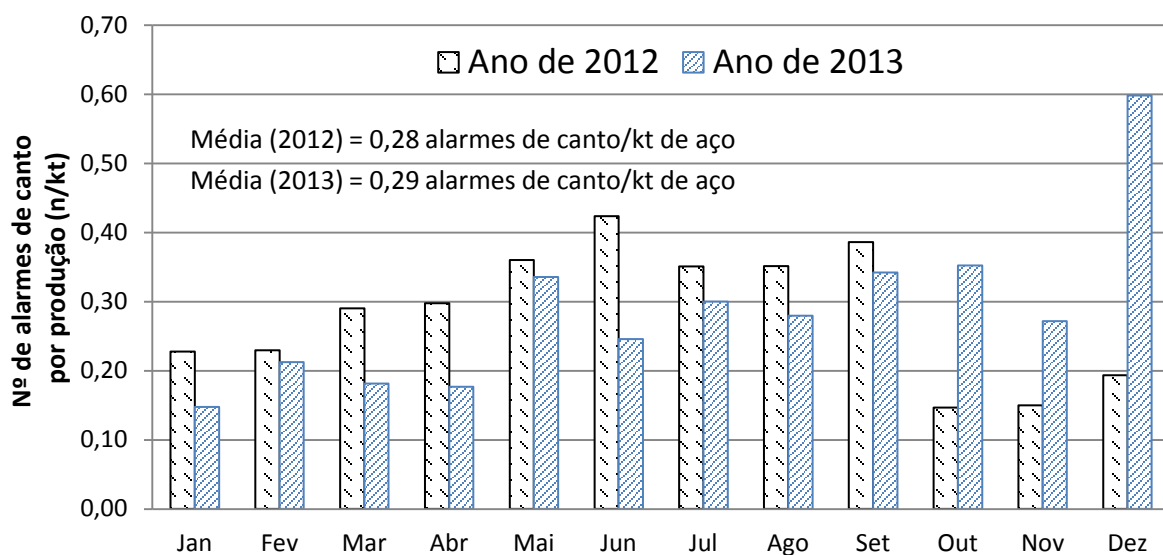


Figura 5. Frequência específica para alarmes de canto, mês a mês nos anos de 2012 e 2013, para as duas Aciarias de Ipatinga.

Por fim, salienta-se que a lógica de canto, alvo desse trabalho, não teve seu modelo alterado, mas sim seus parâmetros de atuação foram ajustados, no sentido da redução da sensibilização. Isso em virtude da nova realidade de produção das aciarias, o que conduziu a uma menor frequência de alarmes desnecessários nas máquinas de lingotamento sem comprometer a eficiência do sistema de detecção de *breakout*.

2 DESENVOLVIMENTO

O Sistema de Detecção de *Breakout* (SDB) foi introduzido após as reformas das máquinas da Aciaria 2 e com a entrada da Máquina de Lingotamento 4 na Aciaria 1. E desde então, os equipamentos continuaram a sofrer melhorias e ajustes para aumento de eficiência na detecção de rompimentos de pele.

2.1 Tipos de erros do sistema de detecção de *breakout*

Quando se discute o desempenho do SDB, algumas possibilidades podem ocorrer. Espera-se que ele atue quando exista o risco do rompimento de pele e que não atue na inexistência desse risco. Contudo, dois erros de tomada de decisão podem estar associados ao funcionamento desse sistema, trazendo prejuízo à integridade das pessoas e da máquina de lingotamento ou a qualidade do aço. O primeiro erro está associado a não existência do risco do *breakout* (Erro I) e o SDB atua reduzindo a velocidade de lingotamento. Nesse caso, o alarme de canto é classificado como falso e a ação indevida de controle afeta negativamente a qualidade do aço e a produtividade da máquina de lingotamento. O segundo caso (Erro II) implica na falta de atuação do SDB quando ele de fato deveria ter atuado, e a máquina de lingotamento é penalizada pelo *breakout*. Assim sendo, o controle desses dois erros são pontos fundamentais para a eficiência do sistema de detecção de *breakout*. Na Tabela 1 são resumidos esses entendimentos. Indiferente do tipo de aço, busca-se a estabilidade da velocidade de lingotamento para a manutenção da qualidade do produto e o atendimento ao plano de produção.

Tabela 1. Erros possíveis do SDB (decisão vs. verdadeiro estado)

		Breakout (verdadeiro estado)	
		Verdadeiro	Falso
Alarme do SDB	Atua*	Decisão correta	Erro I
	Não atua	Erro II	Decisão correta

(*) Redução da velocidade de lingotamento para 0,10 m/min.

Estrategicamente, uma forma de controlar os alarmes falsos da lógica de canto no SDB é ajustar a sensibilidade do disparo de forma a manter o Erro II praticamente eliminado e o Erro I dentro de uma frequência aceitável, garantido a mesma eficiência do sistema de detecção de rompimentos para as decisões corretas.

2.2 Avaliação da veracidade do alarme de canto no sistema de detecção de *breakout*

Para alarmes classificados como falsos (ação do SDB sem risco de *breakout*), o ajuste do sistema de detecção é necessário para evitá-los, mas para isso algumas evidências devem ser levantadas para classificar a natureza do alarme. A análise da regularidade das marcas de oscilação, avaliação da existência ou não de regiões lisas na superfície da placa e/ou marcas que lembram cicatrizes fazem parte do processo de investigação da veracidade do alarme. Com esse julgamento busca-se medir a qualidade da resposta

do SDB e, se necessário, propor ajustes para aumentar a sua eficiência de detecção e evitar alarmes falsos.

Devido a redução automática de velocidade imposta pelo Sistema de Detecção de *Breakout*, a placa em formação no molde sofre uma marca conhecida como duplo lingotamento (DL), resultante da sobreposição de peles de aço no molde, o que conduz ao descarte de parte da placa para a eliminação dessa imperfeição. A identificação da região do duplo lingotamento é fundamental para a análise de veracidade do alarme de canto.

A avaliação indireta da veracidade do alarme de canto consiste em inspecionar a placa fria com ocorrência desse alarme e classificá-la como alarme verdadeiro ou falso. Como a lógica de canto prevê anomalias térmicas apenas nas faces estreitas de placa, as faces largas não são alvos de análises, apenas caso haja transmissão de alguma anormalidade para elas e seja pertinente à análise. O princípio básico é checar a região lateral da placa abaixo do duplo lingotamento, no lado correspondente à face estreita do molde em que disparou o alarme em um comprimento mínimo do tamanho do molde. Nessa região devem existir alterações (perturbação, desalinhamento ou alisamento) nas marcas de oscilação e/ou marcas de vazamento (perfuração ou rasgo) de aço contido, principalmente próximo à quina da placa, que possam evidenciar as anomalias térmicas, que comprovem a necessidade da atuação do SDB. Na Figura 6 é apresentada a lateral de uma placa afetada por alarme de canto mostrando as regiões de interesse para análise.

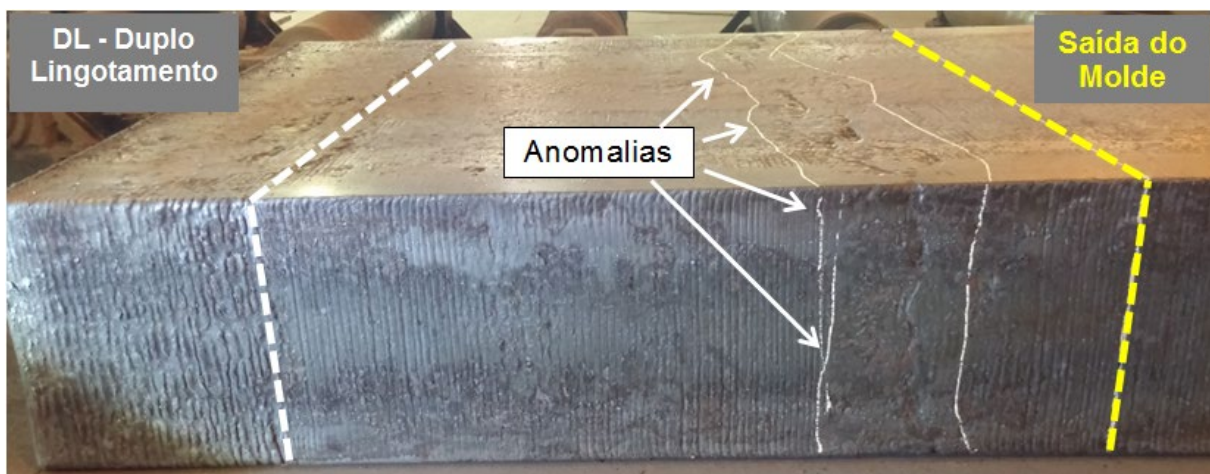


Figura 6. Lateral de uma placa afetada por alarme de canto evidenciando as regiões de análise.

Caso as marcas de oscilação estejam perfeitas na região de análise, o alarme é classificado como falso (Erro I). Caso existam evidências que o alarme foi verdadeiro, e ele não está combinado a nenhum outro alarme, então o alarme é classificado como verdadeiro puro do tipo A. Existe um mecanismo à parte que potencializa um alarme de canto verdadeiro, ele acontece combinado com o alarme de colamento (*sticker*) que é transmitido, na maioria das vezes, da face larga para a face estreita. Esse alarme também é classificado como verdadeiro induzido do tipo B.

Nas Figuras 7, 8 e 9 são mostradas laterais de placas com eventos de alarmes classificados como falso, tipo A e tipo B respectivamente.



Figura 7. Alarame de canto falso, marcas de oscilação paralelas abaixo do duplo lingotamento.



Figura 8. Alarame de canto puro (tipo A).



Figura 9. Alarame de canto induzido pela transmissão de um colamento da face larga (tipo B).

Ao longo de três anos, todas as placas com alarame de canto foram identificadas no corte primário com a indicação ALR CANTO, como ilustrado na Figura 10, e separadas para posterior verificação. Dessa forma, placas com alarame de colamento seguiram o fluxo normalmente. As placas segregadas, uma a uma, foram conferidas, medidas e os desvios encontrados foram catalogados via arquivo fotográfico e/ou por croqui. Somente após a finalização dessa etapa, as placas eram liberadas pela Gerência Técnica de Aciaria para a eliminação do duplo lingotamento.

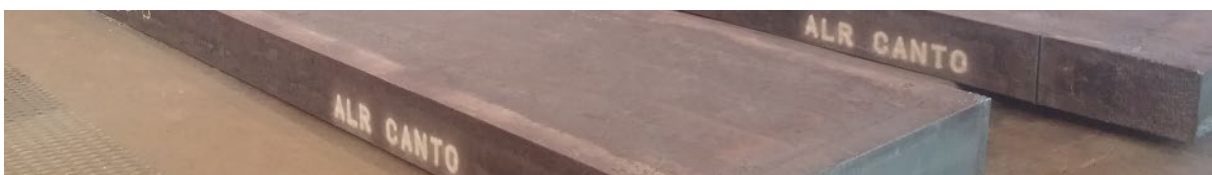


Figura 10. Identificação de placa com alarame de canto para inspeção a frio.

À medida que a sensibilidade da lógica de canto estava sendo ajustada, o volume de placas segregadas reduziu consideravelmente, e aumentava a chance de identificar eventos verdadeiros desse alarame.

2.3 Ajuste do alarme de canto no sistema de detecção de *breakout*

No sistema de detecção de *breakout* de Ipatinga existem duas lógicas independentes para identificar desvio da região da face estreita de molde: a lógica de canto e a lógica de canto de alta severidade. Sendo que para esse trabalho, apenas a lógica de canto foi ajustada, contudo elas serão apresentadas em sequência.

2.3.1 Lógica de Canto

Um sistema informatizado através de leituras em tempo real coleta a temperatura dos termopares instalados em toda extensão do molde. O modelo de detecção de alarme de canto (face estreita) utiliza dessas informações para alimentá-lo.

Ao criar uma janela de tendência, é possível observar o comportamento característico da temperatura no instante em que ocorre a penetração de aço na jaqueta do molde.

O modelo matemático traduz a observação em conceitos e equações para reproduzir e detectar a ocorrência, alarmar e atuar na máquina de lingotamento reduzindo a velocidade.

Para a detecção, o modelo é ajustado por parâmetros que determinarão os limites aceitáveis que irão diferenciar uma condição normal de uma anômala. Analisar o comportamento característico necessita que algumas condições sejam observadas, tais como: situação operacional da máquina de lingotamento, velocidade e a temperaturas dos termopares em torno da região em análise. Na Tabela 2 é demonstrada de forma resumida como é analisada as temperaturas durante o lingotamento.

Tabela 2. Ativação da lógica (critério mínimo)

Instante (s)	$t_{(n-5)}$	$t_{(n-4)}$	$t_{(n-3)}$	$t_{(n-2)}$	$t_{(n-1)}$	$t_{(n-0)}$ *
Temp. (°C)	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	T_0
Taxa (°C/s)	$(T_6-T_5)/\Delta t$	$(T_4-T_5)/\Delta t$	$(T_3-T_4)/\Delta t$	$(T_2-T_3)/\Delta t$	$(T_1-T_2)/\Delta t$	$(T_0-T_1)/\Delta t$
Contador	1	2	3	4	•	•

(*) Momento de referência em relação à entrada de dados.

Através de dados históricos é calculada a taxa de elevação de temperatura para cada termopar, e em função da taxa referência (BASE) de disparo da lógica de canto, a temperatura é classificada como uma possível ocorrência de penetração de aço na face estreita do molde. A partir desse instante, aciona-se um contador (parâmetro) para confirmação da existência de uma anormalidade. Caso não seja considerado como uma possível indicação de alarme, o sistema incorpora essa medição como um dado normal e zera o contador. Com base na estratégia de análise, pode-se iniciar o julgamento da existência ou não de alarme de canto. Caso exista uma tendência de elevação de temperatura (inclinação da curva de elevação de temperatura, taxa, parâmetro), iniciará o processo que identificará se aquele comportamento é um possível alarme de canto. Para confirmar a ocorrência dessa anomalia o sistema aguarda as próximas leituras (parâmetro) e caso se confirme, acionará o alarme e reduzirá a velocidade programada para normalização do rasgo na quina da placa.

A proposta deste estudo é diminuir a sensibilidade do alarme de canto, de 5% em 5%, em relação à taxa BASE de disparo (*default*), até que o número de alarmes falsos (Erro I) reduza para um índice aceitável sem comprometer a eficiência da decisão correta do SDB, e com isso, garantir a integridade das pessoas e do equipamento, a qualidade do produto e a produtividade.

2.3.2 Lógica de Canto de Alta Severidade

A lógica de alta severidade do alarme de canto monitora um saldo específico de elevação de temperatura para até três eventos consecutivos (o que equivale 183% da taxa BASE de disparo). Apesar da independência entre eventos, a lógica de alta severidade de canto acontece com baixíssima frequência, sendo acionada até uma vez por ano por veio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Redução de alarmes de canto falsos (Erro I)

No período de 2014 a 2016, o SDB passou por ajustes graduais em sua sensibilidade para o disparo da lógica de canto. Na Figura 11 é mostrada a redução na frequência específica do alarme de canto das máquinas de lingotamento por aciaria, enfatizando a média geral, ano a ano, de 2012 a março de 2018. O ajuste começou na Aciaria 2, por possuir quatro veios para a consolidação dos resultados, e posterior transposição dos ajustes de forma gradativa para a Aciaria 1, que possui apenas um veio.

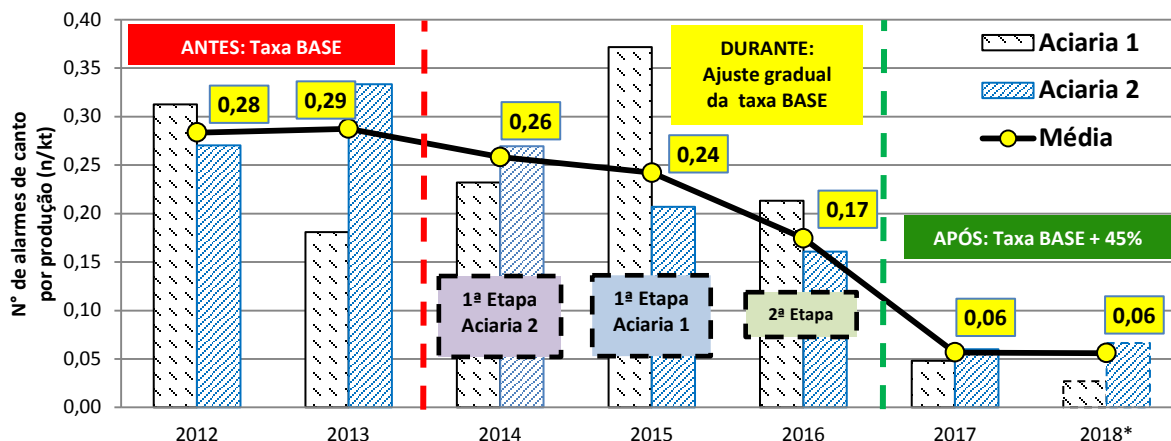


Figura 11. Histórico da frequência do alarme de canto por Aciaria. (*) Consolidado até março de 2018 (Valores médios).

Pela Figura 11 observa-se uma redução na frequência de alarmes de canto de 0,29 para 0,06 alarmes para cada mil toneladas de placas produzidas, uma redução de 80,3% do total dos alarmes de canto, sendo esses referentes ao Erro I.

Para um descarte médio de 1400 kg de aço por alarme de canto e um ritmo de produção de 3,9 milhões de toneladas ano, evitam-se 75 alarmes por mês nas duas Aciarias, e por consequência, o não sucateamento de 105 toneladas por mês de material isento de irregularidade pela não efetivação de alarmes de canto. Evita-se também 75 ocorrências por mês de redução de velocidade, o que corrobora para a manutenção da qualidade de placa e ganho de produtividade.

Com relação à perda de produtividade, estima-se, pela Figura 4, uma perda de disponibilidade média de 4,34 minutos de produção por veio, ao reduzir a velocidade de lingotamento 0,91 m/min para a velocidade média de 0,41 m/min. Com a não efetivação de 75 alarmes, aumenta-se a disponibilidade dos cinco veios de lingotamento em 5 horas e 42 minutos por mês.

Para a operação, o aumento do rigor do alarme de canto fez com que o operador tenha uma atuação mais criteriosa, reduzindo esforços em ações que não têm correlação com a causa raiz, como por exemplo, a troca de pó fluxante (seja lote ou fornecedor) ou até,

em caso extremo, a interrupção do veio ou série, devido ao excesso de alarmes de canto no(s) veio(s) da corrida.

3.2 Critério de aceite para finalizar o ajuste da lógica de canto

Para a consolidação do critério de aceitação do ajuste de mais 45% em relação à taxa BASE, como teste de sensibilidade, inferiu-se teoricamente o possível ganho em um novo incremento de 5% na sobre taxa citada. Na Tabela 3 são apresentadas as taxas de disparo dos alarmes de canto mapeadas em aproximadamente um mês após finalização do ajuste da lógica de canto no final de 2016.

Tabela 3. Taxas expressas em porcentagem que acionou o alarme de canto ajustado com incremento de 45% na taxa BASE. Período de apuração: fevereiro de 2017

	Corrida	Taxa 1 (%)	Taxa 2 (%)	Taxa 3 (%)	Taxa 4 (%)	Taxa Média (%)
Veio 2	A	60	110	90	50	78
	B	50	160	120	*	110
	C	50	55	45	55	51
	D	80	80	65	55	70
Veio 3	E	50	110	165	*	108
	F	55	75	55	80	66
	G	115	110	50	*	92
Veio 4	H	255	65	65	*	128
	I	80	60	65	65	68
	J	105	80	70	*	85
Veio 7	K	185	170	100	*	152
	L	160	100	50	*	103
	M	80	105	80	*	88
	N	60	55	75	85	69

A taxa média igual ou superior a 83%, em relação à taxa BASE de disparo, caracteriza alarme de canto de alta severidade.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3 verifica-se que:

Apenas um alarme seria evitado (corrida C) pelo incremento de mais 5% na taxa de disparo em 45%, ou pelo menos adiado o seu disparo em três segundos;

Em quatorze alarmes de canto, oito foram pela lógica de canto de alta severidade (taxa superior a 87% da taxa base). Anteriormente tinha-se histórico de um evento por ano para essa sub lógica.

Outro aspecto é que o aumento da taxa de ativação da lógica de canto a partir desse ponto também retarda em pelo menos um segundo a sua ativação para eventos verdadeiros. Isso significa um deslocamento do ponto quente em 15 mm a mais em direção à saída do molde para uma velocidade 0,90 m/min. Tal fato aumenta o risco de *breakout* por defasagem mal dimensionada no tempo de resposta. Por fim, o ajuste da taxa de ativação da lógica de canto não concorre com o critério de ativação da lógica de canto de alta severidade, haja vista que a taxa de ativação atual ajustada para o alarme de canto é menor em relação à taxa de alta severidade.

3.3 Frequência de alarmes de canto tipo A e tipo B após o ajuste

Outro aspecto de análise é a frequência do alarme de canto puro (tipo A), ou seja, alarme que não foi induzido pelo aumento de temperatura no interior do molde pela transmissão de um agarramento da face larga de placa para a face estreita (tipo B). Na Figura 11 são estratificados os alarmes de canto puros e induzidos por veio, isso para

20 eventos após a finalização do ajuste da sensibilidade da lógica de canto, em um período de 43 dias.

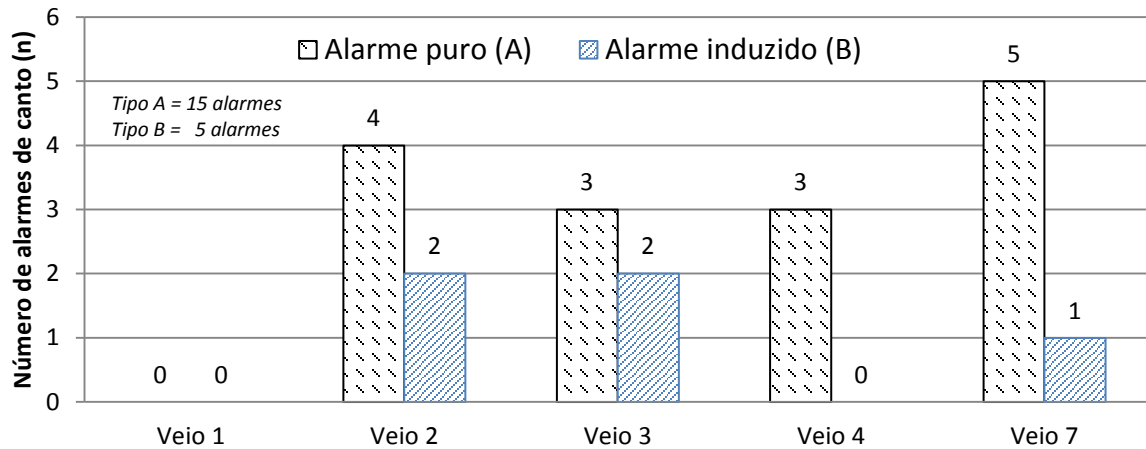


Figura 11. Frequência de alarmes de canto puros (tipo A) e induzidos (tipo B).

Após a finalização do ajuste da lógica de canto, em média, 25% dos eventos de alarme de canto foram induzidos por colamento (*sticker*).

3.4 Análise da influência do ajuste da lógica de canto sobre os *breakouts* de 2017

Em 2017 ocorreram três *breakouts* nas Aciarias de Ipatinga, sendo que em nenhum deles a taxa de disparo original (taxa BASE, *default*) do alarme de canto foi alcançada, não caracterizando falha de atuação do Sistema de Detecção de *Breakout* ajustado. A seguir são apresentadas as taxas observadas nessas ocorrências.

Veio 7, Aciaria 1, em 31/01/2017

- Lógica de canto, taxas: -15%, +35%, -30% e -25% (todos em relação à taxa BASE de disparo, *default*).

Veio 4, Aciaria 2, em 14/10/2017

- Lógica de canto, taxas: -35%, -20%, -15% e -45% (todos em relação à taxa BASE de disparo, *default*).

Veio 2, Aciaria 2, em 21/12/2017

- Lógica de canto, taxas: -190%, -195%, -190% e -180% (todos em relação à taxa BASE de disparo, *default*).

O rompimento do veio 2 aconteceu antes do sistema de detecção atingir os critérios de ativação, contudo as taxas registradas não dispararia o alarme de canto.

Por fim, com base nos estudos de modo de falha que ocasionaram *breakouts*, não existe registro de *breakout* causado por falha na detecção do alarme de canto desde a implantação do SDB.

4 CONCLUSÃO

Pelo presente trabalho é possível concluir que:

O ajuste da taxa de temperatura que dispara o alarme de canto diminuiu a sensibilidade da lógica do alarme em 45% em relação à taxa BASE de disparo, o que garantiu uma redução de 80,3% dos alarmes totais, sendo eles falsos (Erro I);

O ajuste da lógica de canto em 45% em relação à taxa BASE de disparo não inviabilizou a parametrização da lógica de alta severidade que atua com 83% de sobre taxa em relação à taxa BASE;

Estima-se o não sucateamento médio de 105 toneladas de produtos isentos de anormalidades por mês, pela não efetivação de 75 alarmes de canto falsos nos 5 veios, e por consequência, evitou-se 75 vezes a redução de velocidade de lingotamento para 0,10 m/min e a reprogramação do comprimento de placa por causa do duplo lingotamento. E em detrimento a não redução de velocidade, estima-se o aumento da disponibilidade média em 5 horas e 42 minutos por mês dos veios de lingotamento pela não efetivação desses 75 alarmes de canto;

Não foi observada perda de eficiência na detecção de alarmes de canto verdadeiros (Erro II), uma vez que esses alarmes apresentaram uma taxa de elevação de temperatura igual ou superior a 45% em relação à taxa de disparo BASE;

Nenhum dos três *breakouts* ocorridos em 2017 em Ipatinga poderia ter sido evitado pela parametrização original (taxa BASE de disparo, *default*) do alarme de canto do sistema de detecção de *breakout*;

Para a operação, a redução dos alarmes falsos de canto (Erro I) resultou numa menor necessidade de troca de pó fluxante e inibiu a interrupção do veio ou da série, por excesso de alarmes na corrida.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos profissionais:

- Ao pesquisador André Afonso Nascimento pelas inúmeras contribuições técnicas, metodologia e fonte de inspiração;
- Aos engenheiros Rodrigo Seara Martins e Rodrigo Madrona Dias, da Gerência Técnica de Aciaria, pelas análises técnicas de campo;
- Ao consultor Hiroaki Iiboshi, da Gerência de Engenharia e Tecnologia Operacional, pelas discussões técnicas e troca de experiências;
- Aos gestores: Geraldo Cesar Dias Belligoli, Everton Paço Cunha e Flávio Viana Diniz Soares por abraçarem o projeto e viabilizarem uma estrutura de apoio operacional e técnico entre as áreas envolvidas;
- E por fim, a todos os participantes das áreas de operação que se envolveram com o projeto, representados aqui pelos colaboradores:
 - Aciaria 1: Carlos Alexandre Machado e Onério José de Almeida;
 - Aciaria 2: Cáiser Antônio Cunha dos Reis e Anselmo José da Silva.

REFERÊNCIAS

1. World Steel Association. World Steel in figures 2017 – Continuously-cast steel output 2014 to 2016. Bruxelas. ISBN 978-2-930069-88-3. 2017:11. worldsteel.org
2. Rizzo, E. Lingotamento contínuo – Equipamento e instalações, Usiminas, Ipatinga, 2015:78.
3. Machado, MLP, Sobrinho, VPFM and Arrivabene, LF. Siderurgia para não Siderurgistas, CEFET-ES, Vitória, ES, Brasil. 2003.
4. Emling WH. Breakout Prevention. In: Cramb AW. The making, shaping and treating of steel: casting volume. The AISE Steel Foundation, Pittsburgh, Warrendale, PA, 2003(19):7-9.
5. Borba, DLS, Caminhas WM, Resende FMA, Marçal GHR, Rodrigues FD. Detecção de falhas no processo de lingotamento contínuo utilizando máquina de aprendizado e autômato finito. X SABI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, São João Del Rei. Set. 2011:839-844.
6. Dziuba M, Castellá L, Madías J, Castellá A, Di Gresia G, Balante W, Usart J. Mold corner infiltration breakouts in CCM of Siderar, Conference. March, 2000.