



## MEDIÇÃO CONTÍNUA DE TEMPERATURA DO AÇO NO DISTRIBUIDOR: UTILIZAÇÃO DO SISTEMA CASTEMP NA ARCELOR MITTAL TUBARÃO<sup>1</sup>

Marcelo Macedo Fialho<sup>2</sup>  
José Carlos de Pontes Junior<sup>3</sup>  
Octávio Alves Junior<sup>4</sup>  
Mario Henrique Monteiro Oncken<sup>5</sup>  
Santiago Ruiz Barrios<sup>6</sup>

### Resumo

Este trabalho avaliou a performance do Sistema Castemp de medição contínua de temperatura do aço em 30 distribuidores da Máquina de Lingotamento Contínuo 2 da ArcelorMittal Tubarão. O sistema consiste em um termopar instalado na carcaça, próximo ao fundo do distribuidor. Neste teste, foi instalado um termopar em cada veio para avaliar a influência da vazão de aço (*throughput*) na temperatura medida. O Sistema se mostrou muito confiável e apresentou as seguintes características: Resposta rápida para a temperatura real após a abertura da primeira panela sendo a mesma estabilizada com tempo inferior a cinco minutos; Robustez do equipamento, sem falhas durante o lingotamento; Alta confiabilidade da temperatura medida, validada pelo teste de temperatura *Liquidus* após o final de lingotamento e Monitoramento contínuo da temperatura permitindo o lingotamento com a velocidade adequada durante todo o tempo. A performance do sistema possibilita a eliminação completa do termopar com medição discreta. Isto gera um ganho de segurança, reduzindo o tempo de permanência do operador na plataforma de panela além de eliminar a ocorrência de *Breakout* por temperatura e possibilitar ganho de produtividade.

**Palavras-chave:** Castemp; Medição contínua de temperatura.

### CONTINUOUS TEMPERATURE MEASUREMENT OF STEEL IN THE TUNDISH: TEST OF CASTEMP SYSTEM IN ARCELOR MITTAL TUBARÃO

### Abstract

This study evaluated the performance of Castemp system, which consists of a thermocouple fixed in the bottom part of the tundish and measures the temperature of the steel continuously. It was tested in 30 tundishes of #2 continuous caster machine of ArcelorMittal Tubarão. A thermocouple was installed in each strand to evaluate the influence of throughput in temperature. The system proved very reliable and had the following characteristics: quick response to the actual temperature after opening the first ladle (less than five minutes); robust equipment free of failure during casting; high reliability of the measured temperature, validated by *Liquidus* temperature test after the end of casting; continuous data of the temperature allowing casting with appropriate speed at all times. The performance of the system allows full elimination of the discrete measuring thermocouple. That reduces the time spent on the ladle platform by the operator, generating safety gains. The system also avoids the occurrence of Breakout due to high superheat and enables productivity gains.

**Key words:** Castemp; Continuous temperature measurement.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, Área de Confiabilidade de Produção de Placas da ArcelorMittal Tubarão.

<sup>3</sup> Gerente da Área de Confiabilidade de Produção de Placas da ArcelorMittal Tubarão.

<sup>4</sup> Gerente de Vendas da Heraeus Electro-Nite.

<sup>5</sup> Especialista em Aplicação de Produto da Heraeus Electro-Nite.

<sup>6</sup> Gerente de Refratários da Intoox.

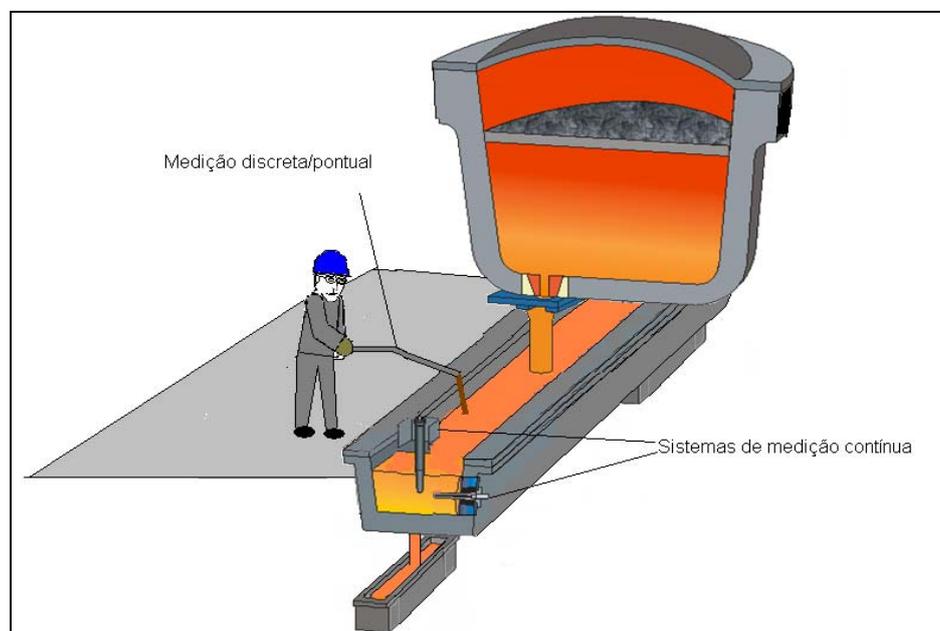


## 1 INTRODUÇÃO

O processo de lingotamento contínuo tem o objetivo de solidificar o aço líquido proveniente da unidade de refino. O aço chega ao lingotamento em uma panela e é direcionado para o distribuidor o qual distribui o mesmo em dois moldes. A solidificação inicia-se no molde e se dá pela extração de calor do aço líquido.

Uma variável importante neste processo é a temperatura do aço líquido antes de atingir o molde, ou seja, no interior do distribuidor. As temperaturas ideais de lingotamento devem estar preferencialmente na ordem de 15°C a 25°C acima da temperatura de início de solidificação (temperatura *liquidus*), de acordo com o tipo de aço. Quando a temperatura do aço líquido se distancia da Temperatura *Liquidus*, surge a necessidade de intervir no processo. Neste caso, a velocidade de lingotamento é reduzida para aumentar o tempo de residência do aço no molde e permitir a formação de uma pele com espessura suficiente para evitar um *Breakout*. Por outro lado, quando a temperatura se aproxima da temperatura *liquidus*, há risco de solidificação prematura do aço na saída do distribuidor. O lingotamento em baixas velocidades pode agravar o problema e deve ser evitado. Neste caso, ou quando a temperatura está adequada, é desejável que o lingotamento seja realizado em uma velocidade que permita alta produtividade.

Existem vários métodos de medição da temperatura do aço no distribuidor.<sup>(1)</sup> Os principais são mostrados na Figura 1. O mais comum é realizado através da imersão de um sensor termopar no aço líquido, que retorna um valor único de temperatura correspondente à temperatura do aço no momento da imersão. Este método tem o menor custo, mas realiza medições pontuais que não acusam variações da temperatura do aço ao longo do lingotamento. Além disso, a imersão é realizada por um operador, expondo-o ao calor e aumentando o seu tempo de permanência na plataforma da panela.



**Figura 1.** Tipos comuns de medição de temperatura do aço no distribuidor.

Dentre os sistemas de medição contínua, encontram-se aqueles que são inseridos pela parte superior do distribuidor e consistem em tubos refratários com um sistema medidor interno, termopar ou sensor óptico, e aqueles que são instalados na parte





A válvula sede possui um canal com a mesma conicidade que o tubo refratário. O tubo é envolto com uma massa de alumina-silica-grafite e inserido no canal do tijolo sede. A Figura 2 mostra o desenho do sistema Castemp montado no distribuidor. O tubo refratário contém um termopar tipo B (*Platina/ Ródio-Platina*) com as seguintes características:<sup>(2)</sup>

- termoelemento positivo (BP): Pt 70% Rh 30% (Ródio-Platina);
- termoelemento negativo (BN): Pt 94% Rh 6% (Ródio-Platina); e
- faixa de utilização: 0°C a 1.820°C.

O princípio de funcionamento do termopar deriva da capacidade do par de ligas em gerar diferentes tensões para diferentes temperaturas. Esta tensão é convertida em sinal digital e enviada para o PLC. Os dados são recebidos continuamente e armazenados. Para o trabalho em questão, os dados foram passados para uma planilha Excel com intervalos de 10 segundos. A Figura 3 mostra a malha de medição do sistema Castemp .

A conexão dos cabos para início das medições de temperatura se deu antes do início do aquecimento do distribuidor e a desconexão, 15 minutos após o fechamento da válvula gaveta dos distribuidores. Desta forma, foi possível avaliar a curva de aquecimento do distribuidor, a variação de temperatura do aço durante todo o lingotamento e a precisão dos termopares pela obtenção do patamar da Temperatura Liquidus (conhecida).

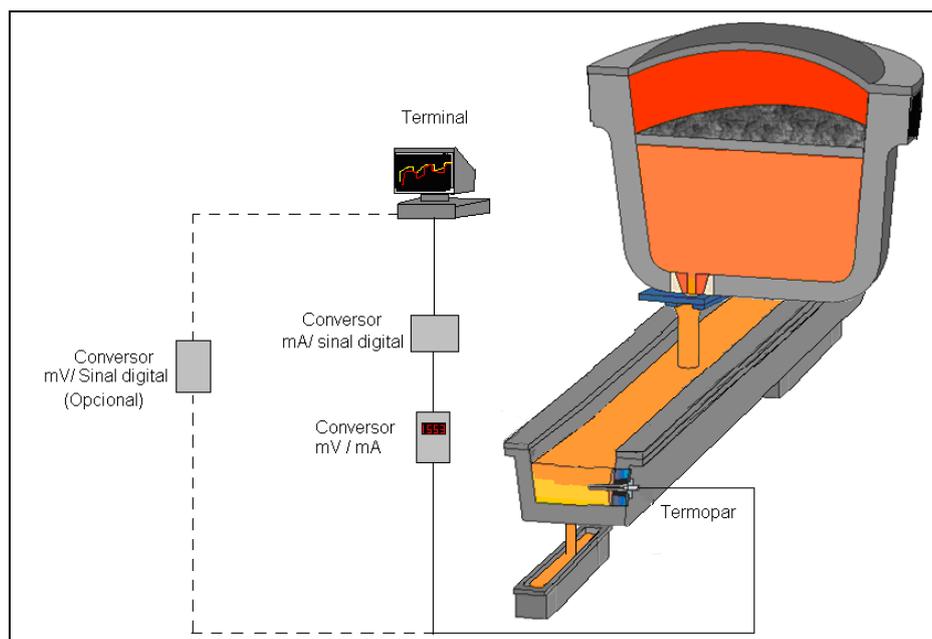


Figura 3. Montagem do Sistema Castemp.

### 3 RESULTADOS

A Figura 4 mostra uma curva característica da variação da temperatura do aço no distribuidor ao longo do lingotamento.

A linha vermelha é a temperatura do veio 3, a linha amarela, a temperatura do veio 4 e os pontos verdes mostram as medições pontuais.

Os patamares da linha verde mostram as temperaturas consideradas oficialmente, e são os prolongamentos das últimas medições pontuais realizadas.



As curvas das temperaturas, medidas continuamente, são semelhantes em ambos os veios.

As medições pontuais também mostraram valores próximos à medição contínua, no momento em que foram medidas.

No momento da primeira medição pontual, a temperatura contínua já mostra o valor real da temperatura do aço.

Após o encerramento de lingotamento, foi obtido o patamar da Temperatura *Liquidus* e comparado com o valor conhecido.

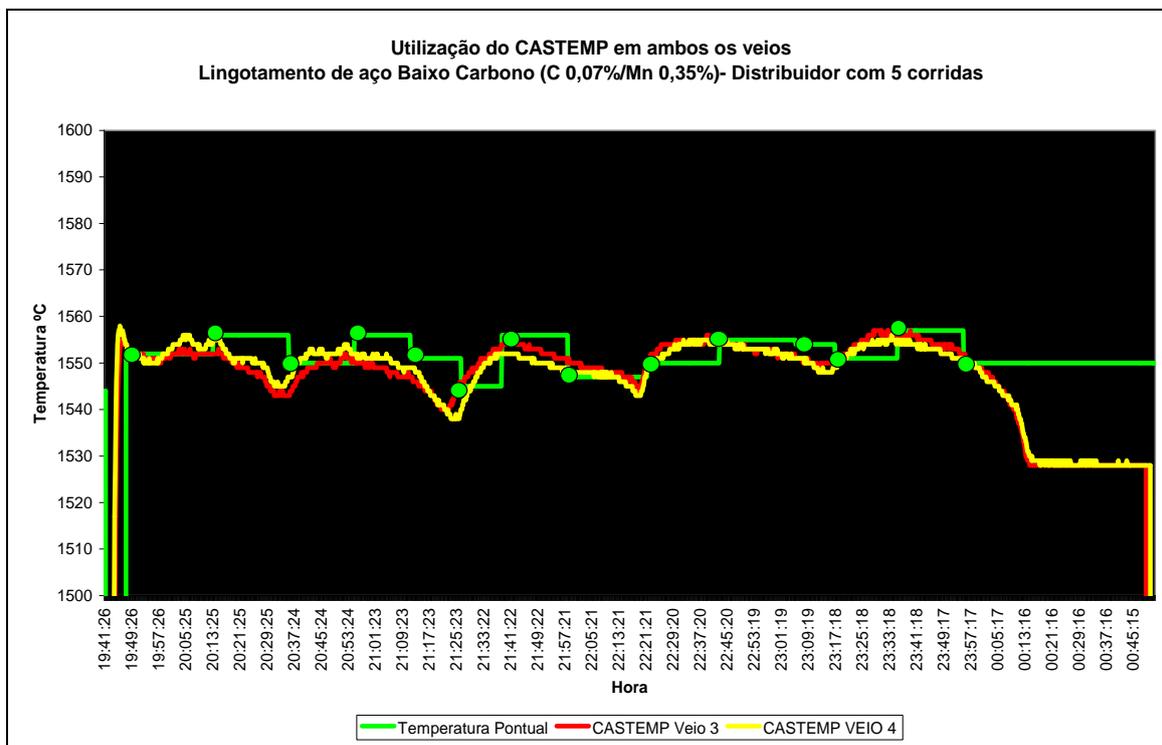


Figura 4. Variação da temperatura ao longo do lingotamento.

### 3.1 Diferença de Temperatura entre Veios e Influência da Vazão de Aço (*Throughput*)

O teste contemplou a instalação do sistema nos dois veios. A Figura 5 mostra a distribuição das diferenças de temperatura entre o veio 4 e o veio 3. A Figura 6 mostra a média das diferenças e o intervalo equivalente a quatro vezes o desvio padrão, que corresponde a cerca de 95% dos dados. Neste último caso, são consideradas apenas vazões iguais entre os veios. Trabalhos anteriores mostraram que há influência da vazão (*throughput*) na temperatura do aço.<sup>(3)</sup> A Figura 7 mostra a influência da relação da vazão de aço entre veios na diferença de temperatura medida em cada veio para o aço Baixo carbono. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos para cada tipo de aço.

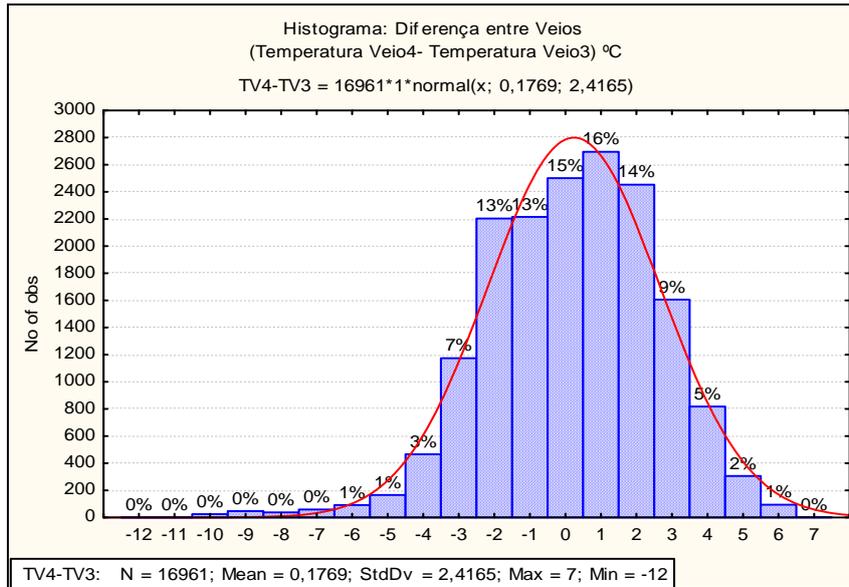


Figura 5. Distribuição da diferença de temperatura entre veios.

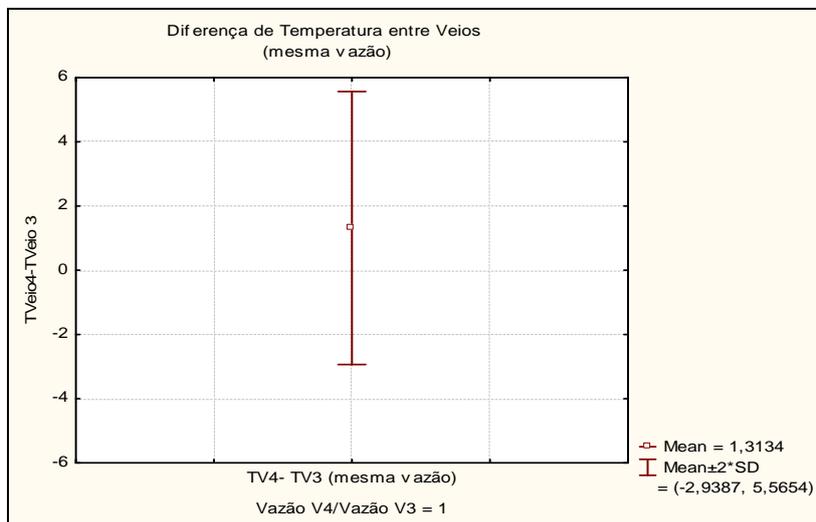


Figura 6. Diferença de temperatura entre veios (mesma vazão).

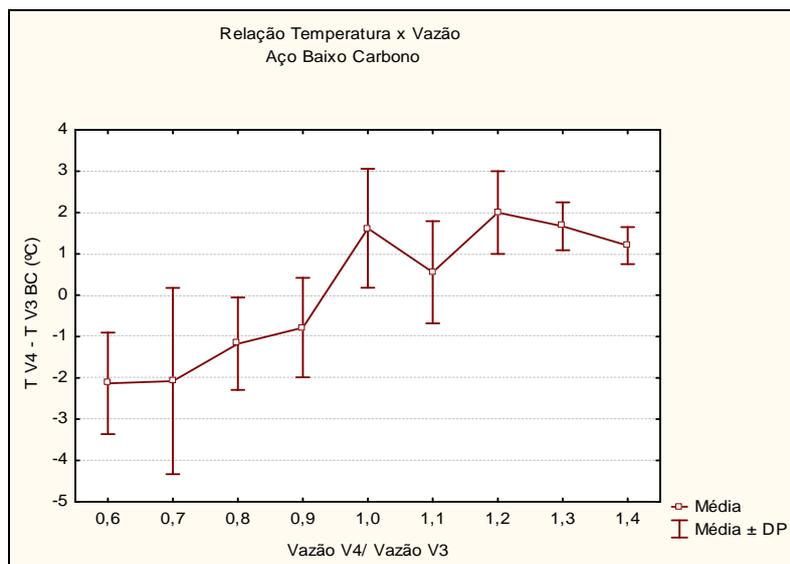


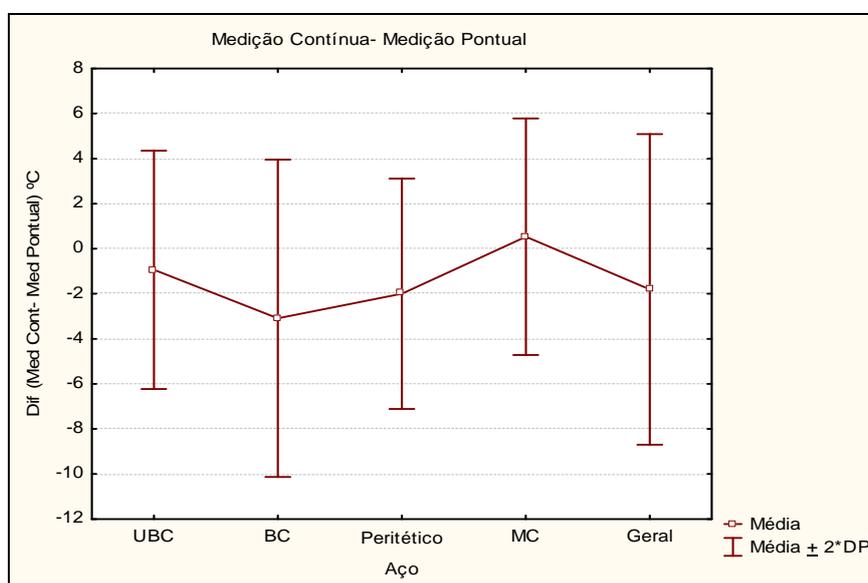
Figura 7. Relação entre vazão dos veios e temperatura no aço BC (Média).

**Tabela 1.** Aumento da temperatura com vazão para os vários tipos de aço

Aço	Varição temperatura com vazão (°C/ 0,1 incremento da razão da vazão V4/ vazão V3)	Vazão média
UBC	0,25	V3 = 2,83 V4= 2,41
BC	0,38	V3 = 3,25 V4= 3,01
Peritético	0,41	V3= 3,21 V4 = 2,74
MC	0,66	V3= 2,94 V4 = 2,68

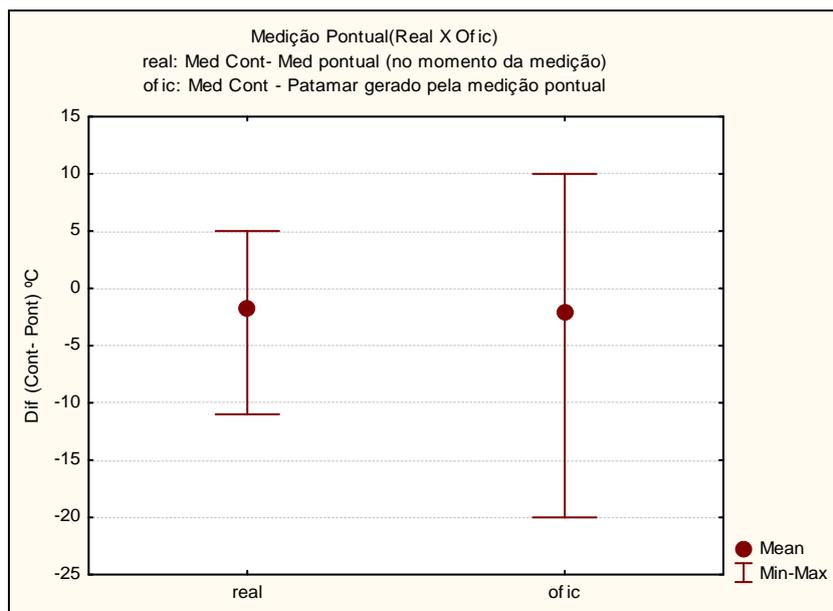
### 3.2 Diferença de Temperatura Entre Medição Contínua e Medição Pontual

A prática atual de medição de temperatura do aço no distribuidor é pontual. A Figura 8 mostra a média das diferenças entre medição contínua e medição pontual, com intervalo representando cerca de 95% dos valores. Neste caso foi considerada a medição contínua do veio 4, pois é o veio onde se faz as medições pontuais.

**Figura 8.** Diferença entre medição contínua e medição pontual.

### 3.3 Diferença de Temperatura Entre Medição Contínua e Medição Oficial

Nos intervalos entre duas medições pontuais, considera-se oficialmente o valor da última medição. Como há variação de temperatura do aço ao longo do lingotamento, este procedimento aumenta o erro entre a temperatura real e a temperatura oficial. A Figura 9 mostra as diferenças entre medição contínua e medição pontual, comparando valores obtidos no momento da medição, e valores obtidos a cada 10 segundos de lingotamento, considerando o valor da última medição.

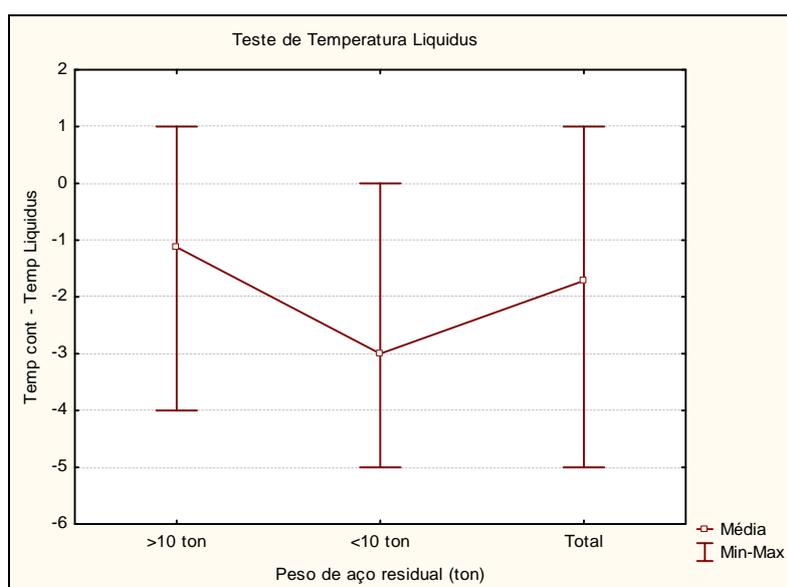


**Figura 9.** Comparação da diferença da medição contínua com a medição pontual no momento da medição e com o patamar oficial gerado.

### 3.4 Teste de Temperatura *Liquidus*

Para verificar a confiabilidade do sistema de medição contínua, foi realizado o teste de temperatura *Liquidus*. Este teste consiste em comparar o valor de temperatura do patamar gerado durante a solidificação do aço com o valor conhecido da temperatura *Liquidus* do aço em questão.

A temperatura *liquidus* é uma propriedade do aço e depende da sua composição química. Para o teste, é necessário que o termopar esteja completamente imerso no aço. O teste da temperatura *Liquidus* é mais confiável quando o peso de aço residual no distribuidor é igual ou superior a 10 toneladas. A Figura 10 mostra a média da diferença entre  $T_{Liquidus}$  obtida -  $T_{Liquidus}$  teórica com os valores máximos e mínimos obtidos.



**Figura 10.** Precisão do sistema Castemp obtida pelo teste da Temperatura *Liquidus* (toda a malha).



## 3.5 Estabilização da Temperatura

É importante verificar o tempo entre momento da abertura da primeira panela do distribuidor e momento em que o termopar inicia a indicação da temperatura real. Este período deve ser o menor possível para possibilitar o início de lingotamento na velocidade recomendada o quanto antes. A Figura 11 mostra a média dos tempos e os valores máximos e mínimos obtidos.

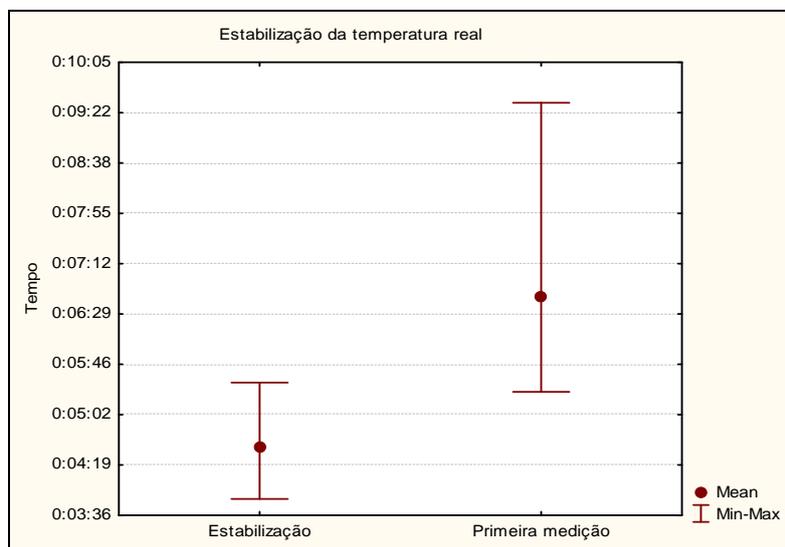


Figura 11. Comparação entre tempo necessário para estabilização e tempo da primeira medição pontual após a abertura da primeira panela do distribuidor.

## 3.6 Trabalho Operacional

### 3.6.1 Montagem do sistema

A montagem do sistema é uma tarefa a ser incluída no processo de preparação do distribuidor. O tempo total para retirada do termopar antigo e colocação do termopar novo dura aproximadamente 15 minutos, e inclui as seguintes etapas:

1. remoção das cunhas e retirada da tampa do flange (1 min);
2. retirada do termopar usado (2 min);
3. limpeza da massa residual do canal da válvula sede (3 min);
4. colocação da massa no novo termopar (4 min);
5. inserção do termopar no canal (2 min);
6. posicionamento da tampa do flange e colocação das cunhas (1 min);
7. colocação de massa ao redor do termopar, no interior do distribuidor (2 min).

### 3.6.2 Acoplamento do cabo na plataforma de lingotamento

O acoplamento do cabo na plataforma de lingotamento é uma tarefa realizada pelo operador do lingotamento contínuo. O procedimento consiste em um encaixe por pressão do cabo de zona quente no bulbo do termopar, aparente na lateral do distribuidor. O trabalho é mínimo e leva até 10 segundos. Após utilização, o mesmo deve ser retirado.

## 3.7 Segurança

A utilização do sistema Castemp elimina a necessidade da medição da temperatura do aço por imersão, tarefa realizada pelo operador. Durante este procedimento o



operador está exposto à radiação do aço e permanece na plataforma de panela, área de risco.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Diferença de Temperatura Entre Veios e Influência da Vazão de Aço (Throughput)

Os resultados mostraram que a diferença de temperatura entre veios pode variar até 5°C, para mais e para menos, considerando todas as condições de processo a que o teste foi realizado. Esta diferença está em parte relacionada à diferença de vazão do aço. Quando a vazão de determinado veio aumenta, em relação ao veio adjacente, a temperatura tende a ser maior. No entanto os gráficos de correlação de temperatura com vazão mostram grande dispersão de resultados. Isto implica na existência da influência de outras variáveis na diferença de temperatura entre os veios.

A Faixa de diferença de temperatura entre os veios (Veio4 - Veio3), com mesma vazão, é de -2,9°C a +5,6°C. A média é +1,3°C e mostra, portanto, que o veio 4 tende a indicar uma temperatura mais alta que o veio 3. Um possível motivo é a presença da calha de emergência no veio 3. No entanto esta diferença pode ser devida ao erro da malha do sistema de medição e heterogeneidade do banho.

Os resultados também mostraram que pode haver um aumento de 0,25°C a 0,66°C para cada incremento de 0,1 na relação da vazão de um veio em relação ao outro. Desta forma, se um veio apresentar o dobro da vazão do veio adjacente, o aumento da temperatura devido essa diferença de vazão é de 2,4°C a 6,6°C favorável ao veio de maior vazão.

### 4.2 Diferença de Temperatura Entre Medição Contínua e Medição Pontual

Os resultados mostraram que a medição pontual é, em média, 2°C superior a medição contínua. O intervalo com 95% de confiança da diferença de temperatura entre medição contínua no veio 4 e medição pontual é de -9°C a +5°C, ou seja, a temperatura indicada na medição contínua pode ser até 9°C inferior a temperatura medida pontualmente. Esta variação pode ser atribuída à diferença do ponto de medição e aos erros na malha dos sistemas.

### 4.3 Diferença de Temperatura entre Medição Contínua e Medição Oficial

Como o sistema de medição pontual não acusa as variações de temperatura, o valor medido pela medição contínua comparado ao valor oficial de temperatura que é o patamar formado pelas medições pontuais tem o erro maior que a comparação da medição contínua com a medição pontual no momento da medição. Neste caso o intervalo da diferença entre medição contínua e medição oficial, considerando os valores mínimos e máximos, apresenta valores de -20°C a +10°C. Observa-se pela distribuição das diferenças (histograma) que durante 5% do tempo de lingotamento a temperatura oficial é 10°C superior à temperatura real (contínua). Isto gera perda de produtividade no processo e impede a realização de mudanças de largura do molde gerando placas com largura abaixo ou acima do especificado. Pode-se verificar também que em 1,5% do tempo, a temperatura oficial é inferior em 6°C a temperatura real. Isto pode resultar em lingotamento com velocidade acima da máxima permitida (risco de BO).



## 4.4 Teste de Temperatura *Liquidus*

O teste de temperatura *Liquidus* mostrou que a precisão de toda malha do sistema CASTEMP é de  $-1^{\circ}\text{C}/+4^{\circ}\text{C}$ . Comparado com o sistema pontual, o sistema de medição contínua se mostrou com menor erro. A faixa de erro da malha do sistema de medição convencional é oficialmente considerado  $-5^{\circ}\text{C}/+5^{\circ}\text{C}$ .

## 4.5 Estabilização da Temperatura

A estabilização da temperatura, após abertura da primeira panela apresentou um valor médio de 4 min. e 30 seg. e um valor máximo de 5 min. e 30 seg. A primeira medição é realizada em média a 6 min. e 40 seg. após abertura da primeira panela com valor mínimo de 5 min. e 22 seg. Portanto, o sistema retorna a temperatura real antes da primeira medição pontual se mostrar necessária. Isto mostra que a instalação do sistema não vai comprometer o processo atual.

## 5 CONCLUSÃO

O sistema CASTEMP mostrou boa performance no processo, com melhor precisão que o sistema atual, sendo capaz de acusar variações de temperatura ao longo do lingotamento e permitir um processo com velocidade adequada para um lingotamento seguro. O trabalho do operador da plataforma de panela é minimizado e a segurança operacional aumenta.

## Agradecimentos

A todos os autores referenciados no trabalho que contribuíram efetivamente na viabilização do mesmo, aos operadores e supervisores da Máquina de Lingotamento Contínuo 2 da ArcelorMittal Tubarão, aos operadores, supervisores, especialistas e gerentes da Reframax Engenharia, à manutenção do Lingotamento Contínuo da Arcelor Mittal Tubarão, à engenharia da Arcelor Mittal Tubarão e ao Sr. Hermes Siqueira, consultor a serviço da Heraeus Electro-Nite.

## REFERÊNCIAS

- 1 GLITSCHER, W. ; BERNDT. M.; PAGDEN,S.; A System Comparison of Continuous Temperature Systems In Concast Operations. La Metallurgia Italiana p. 27-32, setembro 2008.
- 2 VAN DER PERRE, W.; Temperature Measurement in Liquid Metal, Heraeus Electro-Nite International N.V., n.2, 2000. Disponível em: < [http://heraeus-electronite.com/media/webmedia\\_local/media/downloads/steel\\_2/temperaturecontrol/temperature\\_wvdp\\_2000.pdf](http://heraeus-electronite.com/media/webmedia_local/media/downloads/steel_2/temperaturecontrol/temperature_wvdp_2000.pdf)> Acesso em: 16 nov. 2011.
- 3 KOSTYO, R.; GASS, R.; KENDAL, M.; Achieving Enhanced Caster Performance by Utilizing Accurate and Reliable Continuous Temperature Measurement. In: AISTech 2006- The Iron & Steel Technology Conference and Exposition, 23., 2006, Cleveland, OH. Warrendale, PA: AIST, 2006. 1 CD.