

# NOVA TECNOLOGIA DE MASSA DE TAMPONAMENTO LIGADA A PICHE PARA ALTOS-FORNOS COM 1 E 2 FUROS DE CORRIDA<sup>1</sup>

Alamar Kasan Duarte<sup>2</sup>  
Alexander Rabello Ollmann<sup>3</sup>  
Aloísio Simões Ribeiro<sup>4</sup>  
Humberto Chiaretti Bassalo<sup>5</sup>  
Roberto da Cruz Júnior<sup>6</sup>  
Daniel Avelar Lucena<sup>6</sup>

## Resumo

Massas de tamponamento para Altos-Fornos são usualmente baseadas no sistema  $Al_2O_3-SiO_2-SiC-Si_3N_4$ , ligadas a piche, resina ou óleos sintéticos. A escolha de piche ou resina como um agente ligante no sistema é baseado nas características e operação do Alto-Forno, além das condições de trabalho da área. Neste trabalho serão avaliadas as principais diferenças entre as massas de tamponamento ligadas a piche e resina. Além disso, serão apresentados resultados de campo de uma nova tecnologia de massa de tamponamento ligada a piche, utilizada no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão. Este novo produto proporcionou melhor proteção da parede interna do cadinho, estabilidade de esgotamento e manutenção da produtividade do Alto-Forno.

**Palavras-chave:** Massa de tamponamento; Alto-forno; Redução.

## NEW TECHNOLOGY OF TAPHOLE TAR MIXES FOR BLAST FURNACES WITH 1 OR 2 TAPHOLES

## Abstract

Taphole mixes for blast furnaces are usually based on  $Al_2O_3-SiO_2-SiC-Si_3N_4-C$  systems, bonded by tar, resin or even synthetic oils. The choice of tar or resin as a binder system is based on several blast furnace characteristics and operations. This paper will show the main differences between taphole tar and resin mixes. Moreover, some field results of the traditional tar bonded mix used in blast furnace 2 of ArcelorMittal Tubarão will be shown and compared with the results of the new generation of taphole tar mix. The new product provided a better protection hearth wall, stability during draining and maintaining the productivity of the blast furnace.

**Key words:** Taphole mix; Blast furnace; Ironmaking.

- <sup>1</sup> 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.
- <sup>2</sup> Membro da ABM, PhD em Engenharia Metalúrgica e MSc. em Engenharia Cerâmica. Consultor - Yamagata Consultoria.
- <sup>3</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista. Especialista da Área de Redução da Magnesita Refratários SA.
- <sup>4</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista e MSc. em Engenharia de Materiais. Pesquisador da Magnesita Refratários SA.
- <sup>5</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista e MSc. Em Engenharia Cerâmica. Consultor - Yamagata Consultoria.
- <sup>6</sup> Engenheiro Metalurgista. Especialista de Alto-Forno da ArcelorMittal Tubarão.

## 1 INTRODUÇÃO

Massas de tamponamento, utilizadas nos furos de corrida dos Altos-Fornos, são materiais refratários monolíticos com importantes funções para a operação do forno, contribuindo para sua preservação, além de proporcionar estabilidade na produção de gusa e escória. Elas são, usualmente, baseadas no sistema  $Al_2O_3-SiO_2-SiC-Si_3N_4-C$ , ligadas a piche, resina ou óleos sintéticos e devem apresentar três essenciais funções, conforme citado por Bassalo:<sup>(1)</sup> (1) após injeção, a massa garante o adequado tamponamento do forno; (2) no momento do vazamento, a massa de tamponamento permite relativa facilidade de abertura do forno e garante uma drenagem regular do cadinho; e (3) a massa contribui para a formação da proteção refratária interna no cadinho (cogumelo) nas regiões próximas aos furos de corrida.

Durante o tamponamento do Alto-Forno, toda a escória e gusa remanescentes no furo de corrida devem ser levados para dentro do forno, a fim de que o furo seja completamente preenchido apenas com a massa. Neste momento, a massa deve recompor a parede interna do cadinho, reconstruindo o cogumelo que foi consumido durante o último vazamento, prolongando a vida útil do Alto-Forno. Portanto, para que se tenha uma operação estável de tamponamento, uma massa de tamponamento com a característica de boa plasticidade e adesão se torna fundamental, conforme já citado por diversos autores.<sup>(1,2)</sup>

Além das características já citadas, a massa de tamponamento deve permitir relativa facilidade de perfuração durante a operação de abertura do furo de corrida e, para manter a estabilidade durante vazamento do forno, a resistência à corrosão e erosão pelo gusa e escória são características também essenciais ao produto.

As massas de tamponamento são compostas por diversas matérias-primas em diferentes frações granulométricas, objetivando uma adequada distribuição granulométrica dos grãos para obtenção de todas as características exigidas. Elas são classificadas em três grupos principais, de acordo com o tipo de ligante: (1) massas ligadas a piche; (2) massas ligadas a resina; e (3) massas ligadas a misturas de óleos sintéticos que substituem o piche e/ou a resina. A escolha do piche ou resina como um agente ligante depende de alguns requisitos técnicos, como o número de furos de corrida do Alto-Forno, tipo de bloco do furo de corrida (cerâmico ou carbono) e as condições de trabalho da área, conforme citado por alguns autores.<sup>(1,3)</sup> Neste trabalho, o uso de óleos sintéticos como ligante não será abordado, pois a utilização destes tipos de ligantes não são comuns em Altos-Fornos da América do Sul.

O projeto e operação do Alto-Forno são fatores que estão diretamente relacionados à tecnologia da massa de tamponamento. Entre esses fatores pode-se citar as dimensões e o volume "sump" do cadinho do forno (Figura 1) que são variáveis diretamente correlacionadas ao nível de solicitação do gusa e escória sobre a massa de tamponamento.

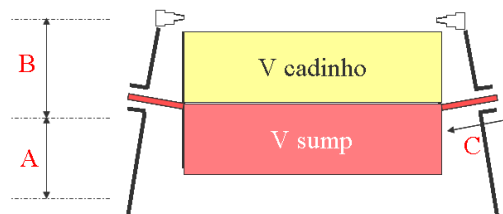
De uma maneira geral, quanto menor a razão entre o volume *sump* e volume interno do cadinho, considerando um determinado nível de produção, maior é o ataque erosivo do gusa e escória sobre a massa. Isto ocorre devido à maior velocidade do banho na região próxima ao furo de corrida.

Na Tabela 1 tem-se os parâmetros de projeto dos três Altos-Fornos da ArcelorMittal Tubarão sendo evidente a menor relação entre o volume *sump* e volume do cadinho do forno 2. Outra relação que também é utilizada para avaliar a severidade do ataque erosivo do gusa e escória na parede do cadinho é a razão entre a produção

do forno e o volume “*sump*”. O Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão apresenta um valor muito superior para essa razão, em relação aos demais fornos, sugerindo também que o banho dentro do cadinho apresenta elevada velocidade junto à parede, proporcionando maior desgaste da massa de tamponamento [4].

**Tabela 1.** Variáveis de projeto dos Altos-Fornos da ArcelorMittal Tubarão

	Alto-Forno 1	Alto-Forno 2	Alto-Forno 3
Produção (ton/dia)	10400	4000	8400
Distância (A): furo de corrida - fundo do cadinho (m)	1,80	2,47	2,37
Distância (B): furo de corrida - ventaneira (m)	4,30	3,50	4,00
Distância (C): comprimento do furo de corrida: tijolos (m)	2,20	2,00	2,19
Volume do cadinho (m <sup>3</sup> )	661	222	553
Volume “ <i>sump</i> ” (m <sup>3</sup> )	276	66	216
Relação volume “ <i>sump</i> ” / volume do cadinho (%)	42	29	39
Relação produção / volume “ <i>sump</i> ” (ton/dia.m <sup>3</sup> )	38	61	39



**Figura 1.** Esquema evidenciando as dimensões do cadinho de um Alto-Forno.

O vazamento do Alto-Forno em um mesmo furo de corrida de maneira consecutiva, também é um fator operacional que aumenta a sollicitação sobre a massa de tamponamento, principalmente em fornos que já apresentam uma menor razão entre o volume *sump* e volume do cadinho. Nesta condição de vazamento, a velocidade do gusa e escória no cadinho é maior, intensificando o ataque erosivo sobre a massa durante a corrida. Desta forma, o uso de uma massa de tamponamento com elevada resistência à erosão se torna necessário, uma vez que a estabilidade do comprimento do furo de corrida e também, estabilidade de vazamento do forno, são parâmetros fundamentais que uma massa de tamponamento deve atender.<sup>(4)</sup>

### 1.1 Tipos de Massas

Massas de tamponamento ligadas a resina são tecnicamente indicadas para pequenos e médios Altos-Fornos que contém 1 ou 2 furos de corrida, com blocos de carbono, também chamados furos frios. Nesse tipo de forno, a temperatura do furo é baixa e o intervalo entre corridas é curto, principalmente quando se opera consecutivamente em um mesmo furo de corrida. A resina, como ligante na massa de tamponamento, proporciona rápida resistência após tamponamento (rápido endurecimento em baixa temperatura) em comparação à massa ligada a piche. Devido ao rápido endurecimento da massa ligada a resina, a ocorrência de *splash* no início da corrida é menor. O inconveniente da massa ligada a resina é a maior

resistência para perfurar e a dificuldade de manutenção do comprimento do furo de corrida, resultado da presença de trincas, conforme citado por alguns autores.<sup>(3,5)</sup>

Massas ligadas a piche são comumente utilizadas em grandes Altos-Fornos, normalmente de concepção japonesa, contendo 3, 4 ou mais furos de corrida e com blocos cerâmicos, não sendo necessário um rápido endurecimento da massa após injeção. Nestes tipos de fornos, as corridas são longas e o vazamento ocorre de forma alternada entre os furos de corrida. Desta forma, a massa possui tempo suficiente para desenvolver sua resistência mecânica após injeção. Além disso, os blocos cerâmicos são mais quentes em relação aos blocos de carbono, contribuindo para a cura e posterior sinterização da massa. A principal vantagem da massa ligada a piche é a melhor capacidade de recomposição do cogumelo, proporcionando menor incidência de trincas, conforme citado por Bassalo.<sup>(1)</sup>

Na Tabela 2 estão apresentadas as principais diferenças entre as massas ligadas a piche e resina.

**Tabela 2.** Diferenças entre massas de tamponamento ligadas a piche e resina<sup>(6)</sup>

<b>Características</b>	<b>Ligada a resina</b>	<b>Ligada a piche</b>
Meio ambiente	Considerada menos nociva	Considerada mais nociva
Alto-Forno	Tecnicamente indicada para equipamento com no máximo 2 FC's	Tecnicamente indicada para equipamentos com no mínimo 2 FC's
Tipo de bloco do FC	Carbono micro-poroso / furo frio	Cerâmico (silimanita, mulita ou alta alumina)
Canhão de massa / temperatura	Requer melhores cuidados com limpeza e controle de temperatura	Demanda cuidados habituais já difundidos e assimilados
Ferramenta de abertura do FC	Broca	Broca ou barra imersa
Cura e sinterização	Maior velocidade, maior resistência mecânica a baixas e médias temperaturas	Menor velocidade, menor resistência mecânica a baixas e médias temperaturas
Trincas	Maior incidência devido maior resistência mecânica / dureza	Menor incidência, mais piropástica
Comprimento do FC	Normalmente menor devido maior incidência de trincas	Normalmente maior devido menor incidência de trincas
Custo	Maior	Menor

Devido à crescente elevação na produtividade dos Altos-Fornos, verificado principalmente nos últimos anos, obteve-se um aumento na severidade das condições operacionais, culminando em uma maior demanda por um vazamento estável de gusa e escória, redução do número de corrida/dia e redução da carga de trabalho dos operadores na casa de corrida.<sup>(7)</sup> Portanto, a massa de tamponamento é projetada para cada Alto-Forno, de acordo com seus parâmetros de projeto e operacionais, maximizando o seu desempenho.

Nesse contexto, este trabalho abordará as principais características das massas de tamponamento ligadas a piche e resina. Além disso, também será apresentado o desenvolvimento de uma nova geração de massas de tamponamento ligadas a piche, destinada para uso no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão, para condições de vazamento em um mesmo furo de corrida de maneira consecutiva.

Devido ao menor tempo para sinterização da massa durante operação de vazamento com corridas consecutivas no Alto-Forno, torna-se necessário utilizar uma massa que apresenta elevada velocidade de cura após injeção. Com isso, tem-se redução da ocorrência de *splash*, principalmente no início de corrida, além de uma maior estabilidade durante o vazamento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma nova concepção técnica de massa de tamponamento indicada para uso no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão foi avaliada em laboratório (composição A1), sendo comparada com outras composições substituindo, basicamente, o tipo de ligante utilizado.

As composições da massa de tamponamento (Tabela 3) foram escolhidas para estimar as principais diferenças entre massas ligadas a piche e resina, além de também avaliar o efeito de um piche especial (piche E) nas propriedades do produto. A composição A1 utilizou o piche E como ligante, sendo este piche similar ao piche convencional (piche C) mas que passou por um processo de aditivação para melhorar determinadas características da massa. Neste caso, buscou-se acelerar a velocidade de endurecimento (cura) da massa de tamponamento após injeção no furo de corrida. A formulação A2, é uma massa ligada a um piche convencional e a formulação A3, é baseada na mesma formulação das anteriores, mas que apresenta a resina como agente ligante. A formulação A4 apresenta como ligantes o piche convencional (piche C) e a resina, adicionados em quantidades iguais.

**Tabela 3.** Tipo de ligante utilizado nas formulações testadas

A1	A2	A3	A4
Piche E	Piche C	Resina	Piche C + resina

O teor do ligante nas composições foi ajustado de acordo com o índice de extrusão do material. Este valor foi determinado através do Teste Marshall e a amostra foi aquecida a 50°C, conforme descrição da norma ASTM D6927.

O módulo de ruptura a quente em atmosfera controlada (injeção de argônio) foi medido em corpos de provas com 150 x 50 x 50 mm, conforme descrito na norma ASTM C1099-07.

O teste de corrosão, utilizando escória sintética, foi realizado em um forno de indução eletromagnético, após tratamento térmico das amostras a 1.200°C. O teste foi conduzido com 3 adições de escória (a cada 30 minutos adicionou-se 180 g de escória) durante 90 minutos, com o forno a 1.650°C. Após o ensaio, mediu-se os desgastes nas regiões dos corpos de provas que ficaram em contato com o ferro gusa e escória fundidos. Com este teste, foi possível comparar o ataque químico do gusa e escória sobre os materiais testados.

Amostras das massas de tamponamento testadas foram prensadas (carga de 3,0 MPa) para formar um corpo de prova cilíndrico nas dimensões 50 x 50 mm, e mantidas em um forno elétrico a 400°C, durante diferentes intervalos de tempo. Após a queima, as amostras foram expostas ao ar para resfriamento, sendo posteriormente avaliado a resistência à compressão (conforme norma NBR 6224). Este teste, chamado teste de cura, foi importante para avaliar o aumento da resistência mecânica das amostras após exposição a um aquecimento instantâneo.

O teste de plasticidade a quente foi realizado para estimar a plasticidade das composições testadas, durante aquecimento progressivo. Amostras cilíndricas com 50 x 50 mm foram preparadas (carga de 3,0 MPa) e colocadas na MTS (*Mechanical*

*Test System*). Durante o ensaio, as amostras foram comprimidas (0,17 mm/min) sendo simultaneamente aquecidas (2,5 °C/min) até 300°C. A carga necessária para comprimir as amostras foi coletada continuamente e comparada entre elas.

No final deste trabalho, resultados de campo do uso das tradicionais massas de tamponamento ligadas a piche serão apresentados e comparados com os resultados da nova geração de massas, que apresentam o piche E como ligante, ambos os produtos similares às composições A2 e A1 avaliadas, respectivamente. Estes produtos foram utilizados no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão, estando expostos, conforme discutido anteriormente, a uma elevada solicitação devido às características de projeto deste Alto-Forno.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4 apresenta a quantidade de ligante utilizado nas formulações testadas para obter um valor do índice de extrusão após fabricação (IEF) entre 7,0 MPa e 9,0 MPa. O teor de ligante das formulações é apresentado na forma do desvio em relação à média de ligante consumido entre as formulações ( $y_i$ ), calculado conforme abaixo:

$$y_i = x_i - X$$

Onde  $x_i$  é o teor do ligante adicionado e  $X$  é a média do teor de ligante utilizado entre as quatro formulações testadas (% em peso).

O piche E, utilizado na formulação A1, demandou menor quantidade quando comparado aos níveis de ligante das demais formulações, considerando uma mesma faixa de plasticidade. Geralmente, é importante reduzir o teor do ligante para o mínimo possível, mantendo a faixa da pressão de extrusão proposta, com o intuito de reduzir os defeitos causados pela volatilização do ligante quando a massa é exposta a elevada temperatura no furo de corrida.

**Tabela 4.** Teor do ligante e índice de extrusão das composições testadas

	A1 (piche E)	A2 (piche C)	A3 (resina)	A4 (piche C + resina)
Desvio em relação à média do teor de ligante ( $y_i$ )	-2,14%	-0,65%	0,11%	2,79%
IEF (MPa)	8,04	8,58	8,45	8,80

O consumo de ligante foi similar entre as formulações A2 (ligada ao piche C) e A3 (ligada a resina) devido ao baixo desvio, considerando o consumo médio de ligante das 4 formulações testadas. Na formulação A4, o uso de piche C e resina como ligantes demandou maior quantidade, considerando as demais formulações que utilizaram somente um tipo de ligante.

#### 3.1 Módulo de Ruptura a Quente

De uma maneira geral, os resultados do módulo de ruptura a quente (Figura 2) mostraram um comportamento similar entre as formulações analisadas. Apenas as formulações A1 e A2 apresentaram uma resistência pouco superior a 800°C e

1.000°C em relação às demais. De qualquer forma, o tipo de ligante não influenciou, de forma significativa, na resistência mecânica a quente do material.

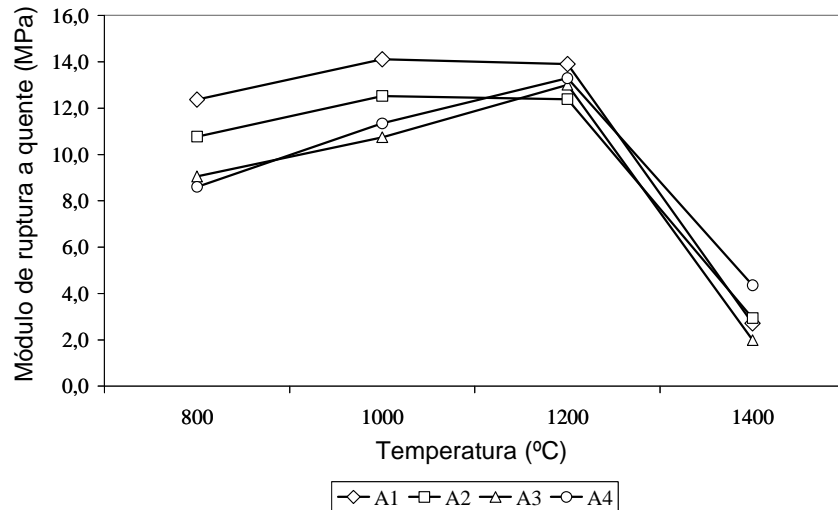


Figura 2. Resultado do módulo de ruptura a quente entre as formulações testadas.

Este teste descreve, de uma maneira indireta, o comportamento da massa de tamponamento devido o ataque erosivo do gusa líquido. Desta forma, as quatro formulações testadas devem apresentar um desgaste similar sobre a ação erosiva do gusa durante vazamento do Alto-Forno, uma vez que os resultados no teste de resistência a flexão a quente foram similares.

### 3.2 Teste de Corrosão no Forno de Indução

Os resultados apresentados para o teste de corrosão no forno de indução são relativos ao desgaste percentual médio sofrido entre as formulações avaliadas. A formulação A3 apresentou melhor desempenho neste teste (menor desgaste), conforme apresentado na Figura 3. As diferenças nos resultados dessa formulação em relação às demais, não foram muito elevadas, entretanto, a formulação A1 foi a que apresentou menor resistência durante ataque químico da escória e gusa.

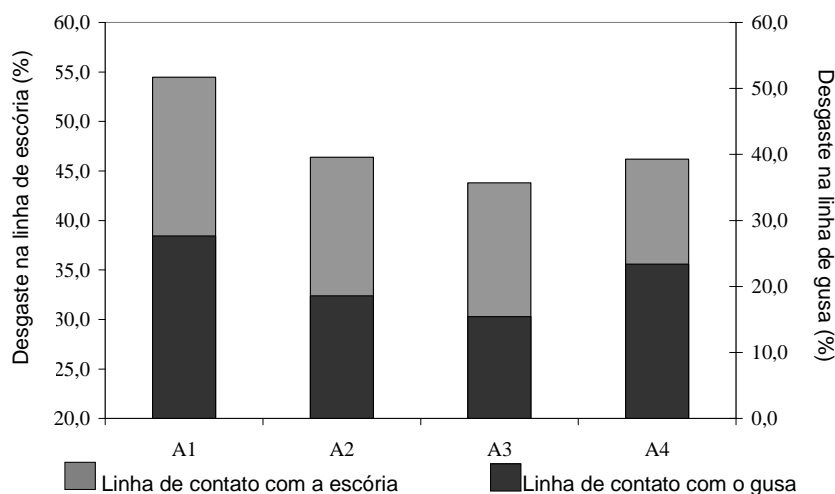
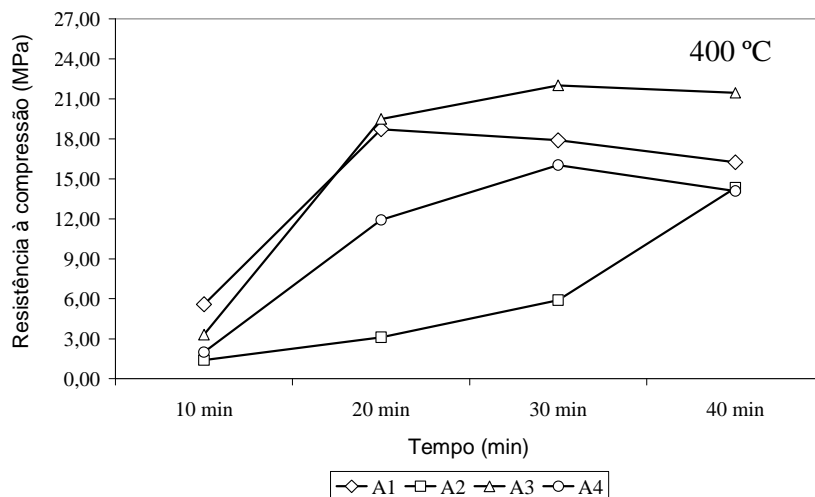


Figura 3. Resultados do teste de corrosão no forno de indução.

### 3.3 Teste de Cura

Para que seja criada uma boa textura da massa dentro do furo de corrida com redução da incidência de trincas, acredita-se que uma rápida velocidade de endurecimento da massa seja importante. Após tamponamento do furo, o rápido endurecimento da massa previne a geração de defeitos causados pela volatilização do ligante, com redução também da infiltração de metal (gusa). Desta forma, o teste de cura é uma importante ferramenta para determinar, sobre exposição da massa a um rápido aquecimento, qual o melhor tipo de ligante para desenvolvimento da resistência mecânica a baixas temperaturas.

De acordo com a Figura 4, a formulação A1 com piche E, mostrou um comportamento similar à formulação A3 ligada a resina. Devido ao aumento da resistência mecânica observado após 20 minutos com a amostra A1, exposta a 400°C dentro do forno, o piche E contido nesta formulação proporcionou um comportamento similar à massa de tamponamento ligada a piche quando comparada à massa ligada a resina (formulação A3). Portanto, o uso do piche E ajudou a promover a resistência mecânica do material sob rápido aquecimento, característica essa normal de massas ligadas a resina.



**Figura 4.** Resultados do teste de cura.

A formulação A4 apresentou comportamento intermediário quando comparada às massas ligadas a piche C (convencional) e resina (formulações A2 e A3, respectivamente).

### 3.4 Teste de Plasticidade a Quente

O teste de plasticidade a quente apresentado na Figura 5, comparou a diferença na plasticidade entre as formulações testadas, quando expostas um aquecimento progressivo. A formulação A3 apresentou maior resistência durante a compressão. Isto sugere uma menor plasticidade da formulação A3 quando comparada às demais, considerando que todas as formulações passaram por condições similares do ensaio. Portanto, massas de tamponamento ligadas a resina, como é o caso da formulação A3, perdem sua plasticidade muito rápido com o aumento da temperatura.

O mais importante desses resultados foi o comportamento da formulação A1. O piche E, presente nesta formulação, não interferiu em sua plasticidade. Isto ocorreu



devido ao resultado similar desta formulação com a formulação A2, que continha o piche C em sua composição, e que não apresentou redução da plasticidade durante o aumento gradual da temperatura.

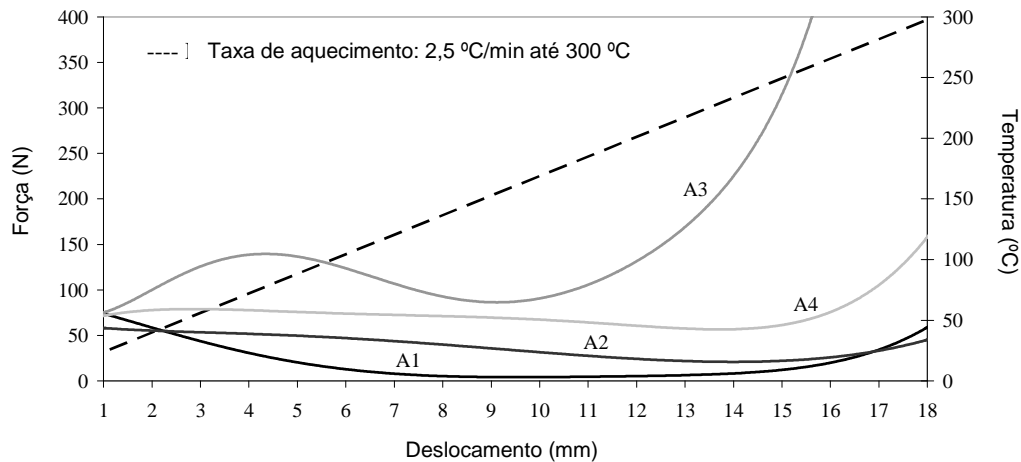


Figura 5. Resultados do teste de plasticidade.

Portanto, até este momento, a formulação A1, que utilizou o piche E, apresentou comportamento similar à massa de tamponamento ligada a resina devido ao aumento da resistência mecânica quando submetida a um súbito aquecimento (teste de cura). Entretanto, quando exposta a um aquecimento gradual (teste de plasticidade a quente), manteve sua plasticidade (piroplasticidade), similarmente à formulação ligada ao piche C (formulação A2). Durante o tamponamento do Alto-Forno, a massa de tamponamento que entra em contato direto com o material fundido, passa por um processo de súbito aquecimento. Ao mesmo tempo, a massa que não foi exposta diretamente ao aquecimento, deve preservar sua plasticidade, permitindo um melhor espalhamento dentro do furo de corrida e reconstrução do cogumelo. Portanto, a formulação A1, também conhecida como nova geração de massa de tamponamento ligada a piche, apresenta esta característica, sendo uma excelente alternativa de massas ligadas a piche. Este produto, em determinadas situações, apresenta as características benéficas de produtos ligados a resina (rápido endurecimento), mantendo também as características benéficas das massas ligadas a piche.

Após caracterização em laboratório das 4 composições propostas, serão apresentados na seção seguinte os principais resultados obtidos durante a utilização das composições A1 e A2 no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão. A composição A2 é o produto de linha deste Alto-Forno e, a composição A1, é um novo produto desenvolvido, ligado ao piche E, e que apresenta a característica de acelerar a velocidade de cura após injeção no furo de corrida, proporcionando melhor proteção da parede interna e estabilidade de esgotamento do cadinho durante operações de corridas consecutivas.

### 3.5 Resultados de Campo

Conforme discutido na introdução deste trabalho, o Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão apresenta algumas características do projeto do cadinho que proporciona maior sollicitação do gusa e escória sobre a massa de tamponamento. Além dessas características, durante períodos em que as corridas ocorrem consecutivamente no

mesmo furo de corrida devido, por exemplo, a uma manutenção de um dos canais principais de corrida, a solicitação sobre a massa é intensificada em função principalmente do menor tempo para sua sinterização [4]. Foi neste cenário que avaliou-se o uso de uma nova massa de tamponamento, ligada a um piche especial (piche E), e que apresenta maior velocidade de endurecimento após sua injeção no furo de corrida, proporcionando maior estabilidade durante o vazamento do Alto-Forno. Na Tabela 5 encontram-se os principais resultados obtidos desta nova tecnologia de massa de tamponamento ligada a piche, em relação à massa de linha ligada a um piche convencional, ambas utilizadas no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão.

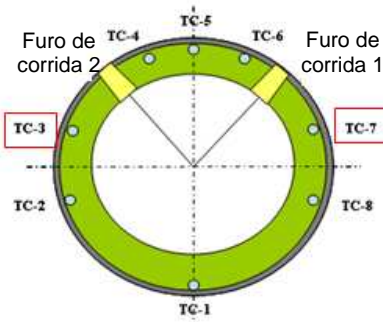
**Tabela 5.** Resultados da massa de tamponamento convencional e com piche E - Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão (dados referentes a 2007 e 2008, com o Alto-Forno operando com corridas consecutivas)

	<b>Massa convencional</b>	<b>Massa ligada a um piche E</b>
Tempo de corrida (min)	87 ± 25	102 ± 26
Índice de escória	0,57 ± 0,11	0,64 ± 0,11
Comprimento FG (mm)	3061 ± 325	2661 ± 227
Consumo médio de broca (broca/corrída)	1,12 ± 0,37	1,03 ± 0,18
Consumo de barra	10,72%	2,27%
Índice de trincas	3,80%	1,30%
Consumo específico (kg/ton de gusa)	0,80	0,60

Analisando os resultados apresentados na Tabela 5, sendo estes dados relativos aos períodos em que o forno operou com corridas consecutivas, verificou-se que o uso da massa de tamponamento com o piche E proporcionou aumento do tempo de corrida e índice de escória. Além disso, verificou-se menor carga de trabalho na casa de corrida devido à redução da incidência de trincas e consumo de barras.

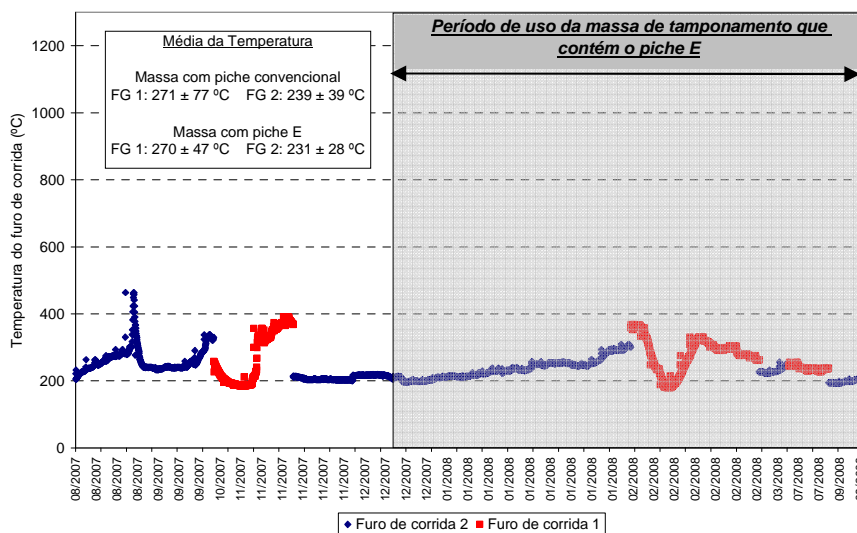
O comprimento do furo de corrida durante uso da massa com o piche E foi menor quando comparado ao período de uso da massa de tamponamento convencional. Entretanto, mesmo o comprimento do furo de corrida sendo menor com a massa ligada ao piche E, verificou-se uma menor dispersão desses resultados neste período.

No Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão ocorria a presença de pontos quentes no nível HL 4 em uma região próxima aos furos de corridas. Estes pontos eram os pontos 7 (TC-7) e 3 (TC-3) próximos aos furos de corridas 1 e 2, respectivamente, conforme evidenciado na Figura 6.



**Figura 6.** Localização dos termopares no cadinho do Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão, nível HL 4.

Algumas ações foram adotadas para melhorar o controle da evolução da temperatura nestes pontos, objetivando extensão da campanha do Alto-Forno. Essas medidas não serão abordadas neste trabalho, entretanto, na Figura 7, encontram-se os resultados da evolução da temperatura nos pontos 7 e 3 do nível HL 4 durante uso dos 2 produtos avaliados. É importante destacar que na Figura 7 estão os registros de temperatura dos pontos citados apenas durante as operações com corridas consecutivas do Alto-Forno.



**Figura 7.** Resultados da evolução da temperatura nos pontos 7 e 3 - nível HL 4 do cadinho do Alto-Forno 2 da ArcelorMittal, durante vazamento em corridas consecutivas.

Conforme evidenciado na Figura 7, durante o uso da massa de tamponamento ligada ao piche E, verificou-se uma redução e maior estabilização da temperatura média nas regiões próximas aos furos de corridas 1 e 2. Além disso, a dispersão da temperatura nestes pontos foi menor nesse período mostrando que, apesar do novo produto ter apresentado um menor comprimento médio de furo de corrida, este valor não prejudicou o escoamento do Alto-Forno permanecendo dentro dos padrões de controle. Verificou-se também com o uso da nova tecnologia de massa de tamponamento testada, aumento do tempo de corrida e índice de escória.

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível rever as principais diferenças entre massas de tamponamento ligadas a piche e resina, além de diferenciá-las para uso em específicos Altos-Fornos.

Técnicas de caracterização foram utilizadas para analisar a influência do piche e da resina na massa de tamponamento, permitindo o desenvolvimento de uma nova geração de massas de tamponamento ligadas a piche e que apresenta, no mesmo produto, as características benéficas das massas ligadas a resina e das massas de tamponamento ligadas aos tradicionais piches.

Resultados de campo do uso no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão das massas de tamponamento ligadas ao piche convencional e ao piche especial foram comparados. O novo produto contribuiu principalmente para o aumento do tempo de corrida e manutenção da proteção da região próxima ao furo de corrida durante vazamento com corridas consecutivas. Em conjunto, outras ações no Alto-Forno ajudaram no controle das temperaturas do cadinho.

Esta nova tecnologia de massa de tamponamento permitiu o desenvolvimento de marcas que são utilizadas atualmente no mercado nacional, em Altos-Fornos de 1 e 2 furos de corridas, neste caso, durante operações de vazamento desses Altos-Fornos com corridas consecutivas.

## REFERÊNCIAS

- 1 BASSALO, H.C., BITTENCOURT, L.R.M., Massas de tamponamento para furos de corrida de altos-fornos – tipos, projeto de desenvolvimento e adequação às condições operacionais. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, 32., 2002, Vitória: ABM, 2002. p. 349-357.
- 2 TAKITA, I., MATSUNAGA, T., SUZUKI, T., USHIJIMA, Y., OHTSUBO, Y. Taphole clay for blast furnace, AISTech Proceedings, v. 1, 2004.
- 3 BASSALO, H.C., BITTENCOURT, L.R.M., BRITO, M.A.M. Evolution of monolithics for blast furnace cast houses in South America. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES, 45., 2002, Aachen, p. 93-97.
- 4 CRUZ JÚNIOR, R. Relatório interno de casa de corrida da AMT/IDG – SERRA – ES, 2007.
- 5 GISBERT, DUARTE, A.K., AMADO, H., BASSALO, H.C. Desenvolvimento de massas ligadas a resina para tamponamento de furo de corrida de altos-fornos. In: Congresso Alafar, 27., 1998, Lima, p. 199-208.
- 6 RIBEIRO, A.S., Análise sistêmica das massas de tamponamento para altos-fornos. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais - UFSCAR, 2010, São Carlos.
- 7 MUROI, N. New taphole mud for blast furnace, Taikabutsu Overseas, v. 19, n. 3, p. 24-27, 1999.