

OTIMIZAÇÃO DA TROCA A QUENTE DO FUNDO DO CONVERTEDOR MRP-L DE FORMA SEGURA¹

Adão Adelcio Campos²
Anderson Batista Lana³

Antonio Marcos Bolba Roldão⁴
Carlos Pagliosa⁵

Cleber Caetano Tomazio⁴

Edilson Simões Cavalieri⁶

Hélcio de Araújo Quintão⁷

Luiz Wander Tonelli Reis⁸

João Domingos Guimarães de Athayde Júnior⁹

José Eustáquio Pinto⁶

José Geraldo Ank⁷

Otávio Augusto da Cunha Teixeira¹⁰

João Cordeiro Neves⁸

Resumo

O convertedor MRP-L, é um convertedor básico a oxigênio, que também utiliza a injeção de gases inerte (Ar/N₂) através de cinco elementos porosos, localizados no fundo do vaso. Em função do maior desgaste da região dos plugues o fundo do convertedor MRP-L era trocado em até cinco vezes durante uma campanha refratária. No período de abril a maio de 2007, tivemos três ocorrências consecutivas de graves problemas com fundo do MRP-L (Vazamento de aço na interface do refratário do fundo intercambiável com a parte inferior do revestimento do vaso e queda de tijolos do fundo). Foi verificada uma ausência de massa refratária na região onde houve vazamento de metal. Desenvolveu-se então uma nova metodologia da troca do fundo do convertedor, com montagem de um sistema de injeção de uma nova massa refratária de magnésia, úmida, de pega a quente e ligada à resina, desenvolvida na Magnesita, especialmente para esta aplicação. Também foi modificado o formato dos tijolos que compõem o fundo do convertedor com usinagem de sistema macho e fêmea, garantindo, assim, um excelente encaixe dos mesmos, e eliminação dos riscos de deslocamento. Como resultado, o novo sistema garante a completa selagem da interface dos tijolos do fundo com os tijolos da lateral do convertedor, Além da melhor performance, foi reduzido em 20% o tempo necessário para a troca do fundo, também foi possível atingir um novo recorde de produção de corridas em uma única campanha refratária do forno de 6120 corridas.

Palavras-chave: Convertedor; MRP-L; Troca do fundo.

OPTIMIZATION OF HEAT EXCHANGE AT THE BOTTOM OF MRP-L CONVERTOR IN A SAFE WAY

Abstract

The MRP-L conversor is a basic oxygen conversor which also uses an injection of inert gas (Ar/N₂) through porous elements located at the bottom of the conversor. Due to the greater wear of the areas surrounding the plugs at the bottom of the conversor it was replaced up to five times during a refractory period. From April to May 2007 we had three consecutive incidents with serious problems at the bottom of the MRP-L (steel leaked at the interface between exchangeable bottom refractory and the lower coating of the vase and some bricks from the bottom fell). It was noticed the absence of refractory mortar in the area where the leaking occurred. A new methodology was developed to replace the conversor bottom. A new system was developed with the injection of magnesium refractory mortar, humid, which can be used hot, using resin as binder. This product was developed by Magnesita specially for this application. The bricks that form the bottom of the conversor were also modified using machining male and female parts to ensure a perfect fitting to avoid risk of displacement. As a result the new system ensures a complete sealing of the interface between the bricks from the bottom and side of the conversor. On top of better performance, the replacement time of the bottom was reduced by 20%. Which allowed to reach a new record number of heats, 6120, in an only refractory period.

Key words: Conversor; MRP-L; Replacement of the bottom

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Aciaria – Internacional, 24 a 27 de maio de 2009, São Paulo, SP, Brasil.

² Engenheiro Materiais, Assistente Técnico Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil.

³ Supervisor Técnico Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico – Departamento de engenharia - AcellorMittal Inox Brasil

⁵ Engenheiro de materiais, Pesquisador – Magnesita SA.

⁶ Analista Técnico Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil

⁷ Engenheiro Metalurgista Assistente Técnico Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil

⁸ Engenheiro Metalurgista – Assistência técnica – Magnesita SA.

⁹ Engenheiro Metalurgista, Gerente de Elaboração da Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil

¹⁰ Engenheiro Metalurgista, Gerente Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil

1 INTRODUÇÃO

O MRP-L (Metal Refining Process with Lance) teve seu start up em março de 1996. Mas a partir de Novembro de 2001 substituiu o LD, assumindo a produção dos aços carbono e siliciosos, além de complementar a produção de aços inoxidáveis quando necessário. Trata-se de um convertedor de sopro combinado, ou seja, a injeção de gases (oxigênio e gás inerte) para a fabricação de aços se dá pela lança e através de elementos de injeção localizados no fundo do vaso.

Os cinco elementos para injeção de gases inertes (argônio ou nitrogênio) são da forma de plugue poroso com tubos capilares (24 tubos de aço inoxidável com 0,9mm de diâmetro) e estão posicionados de forma simétrica no fundo do vaso. Os plugues para injeção são controlados individualmente (Figuras 1 e 2).

A presença destes plugues permite um maior rendimento metálico do aço em produção, além da ajuda na redução do cromo da escória, no caso de produção de aços inoxidáveis.⁽¹⁾

A vida do vaso estava em torno de 5.500 corridas (os tijolos refratários do convertedor são trocados uma vez por ano), Já o fundo do vaso era trocado em até cinco vezes durante uma campanha refratária do convertedor, com um tempo de troca de 16 horas (já contando o aquecimento para reinício de operação). As paredes laterais do vaso são revestidas com tijolos cromo-magnesianos. O revestimento permanente (revestimento da camisa) são de tijolos magnesianos. Já o fundo móvel do convertedor que pesa em torno de 20 toneladas, é constituído de refratário magnésia, sendo montado em plataforma independente, localizada no primeiro piso da Aciaria. O primeiro fundo da campanha é montado junto com o revestimento inicial, tem normalmente 1.200 mm de altura de trabalho, Os elementos permeáveis, em número de cinco, têm as mesmas dimensões básicas dos tijolos do fundo.

Após a colocação do fundo móvel o vaso era aquecido até aprox. 1.300°C e logo em seguida a massa refrataria Stampmag, fornecida pela empresa Magensita S.A, era adicionada através da parte superior do convertedor (soquete) e após cair sobre o topo dos tijolos do fundo a massa deslocava em função do aquecimento para as laterais do fundo, objetivando assim o preenchimento da interface do tijolo do fundo com o tijolo do convertedor, ou seja a selagem do fundo com o convertedor

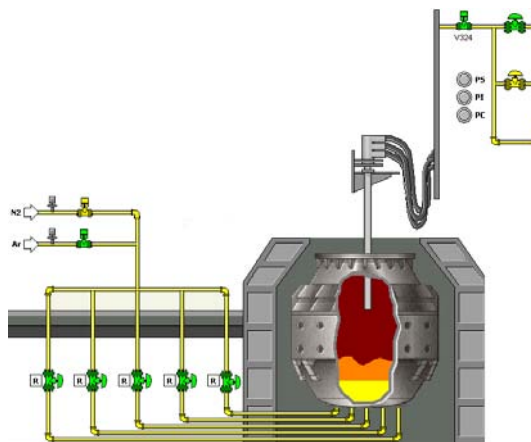


Figura 1 – Vista dos cinco plugues com control

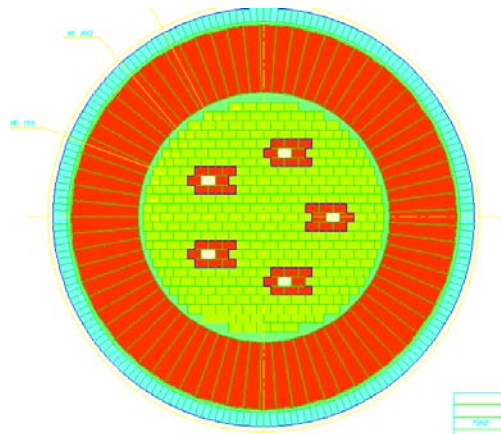


Figura 2 – Fundo do convertedor.

A troca do furo durante uma campanha refratário do convertedor é feita em função do maior desgaste dos refratários que compõem a parte de plugues no fundo do convertedor. Busca-se fazer a troca do fundo quando este atinge uma espessura crítica (em torno de 300 mm) de altura, o que ocorria em até cinco vezes durante uma campanha refratária do convertedor, com uma vida média de 1325 corridas. (Figura 3).

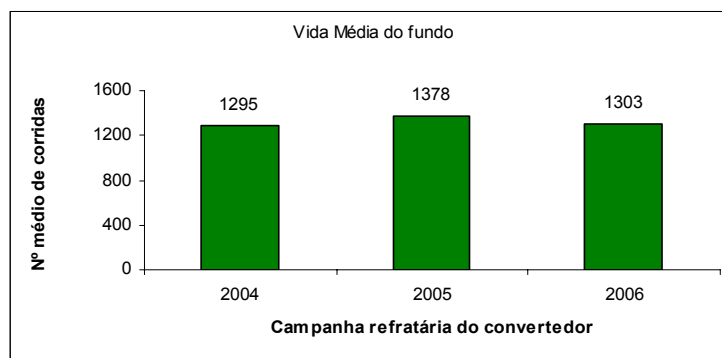


Figura 3 – Vida média do fundo do MRP-L

Entretanto no período de abril a maio de 2007 tivemos alguns problemas sinistros que levaram ao vazamento de metal (gusa) na interface do refratário do fundo intercambiável com a parte inferior do revestimento do vaso, comprometendo a produção da ArcelorMittal Inox Brasil.

1.1 Histórico dos Problemas

1.1.1 Primeira ocorrência

No dia 21/04/2007, durante uma operação normal de produção de aço no convertedor MRP-L, observou-se um vazamento indevido de gusa na interface do refratário do fundo intercambiável com a parte inferior do revestimento do vaso, este vazamento promoveu o desgaste da carcaça metálica do convertedor (ver figura 4 e 5), levando a parada do convertedor imediatamente. Foi então avaliado o tamanho do estrago no convertedor e após uma reunião de consenso entre a equipe gerencial e técnica da ArcelorMittal Inox Brasil e o fornecedor de refratário foi decidido preencher o vazio oriundo do vazamento do metal líquido com massa de reparo Stampmag FC, usada na troca do furo de corrida do vaso.



Figura 4 - Vista da região da interface refratário e fundo do convertedor



Figura 5 – Vista da carcaça metálica do fundo do MRP-L, após o furo.

1.1.2 Segunda ocorrência

Após preenchimento, o fundo trabalhou na produção de 229 corridas, sendo então substituído por um novo fundo no dia 01/05/2007. O novo fundo voltou a apresentar vazamento na interface do refratário do fundo intercambiável com a parte inferior do revestimento do vaso no dia 06/05/2007, com apenas 106 corridas processadas, contrárias a uma expectativa de no mínimo 1.300 corridas (Figuras 6 e 7).



Figura 6 – Vazio na interface do fundo do convertedor.

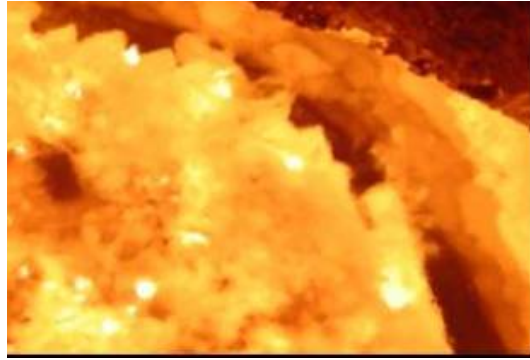


Figura 7 – Destaque da falha no preenchimento

1.1.3 Terceira ocorrência

Em função do vazamento precoce do novo fundo, decidiu-se interromper a utilização deste fundo e substituí-lo por um novo fundo, a qual foi realizada no dia 13/05/2007. Este novo fundo caiu quase que por completo durante o basculamento do forno, para remoção do excesso de escória oriunda do processo de aquecimento de um novo fundo, ou seja, antes do carregamento da primeira corrida, visto que a ação de basculamento do vaso e a força de travamento dos tijolos não foram suficientes para superar a força de atrito estática entre os tijolos que compunham o novo fundo (Figuras . 8 e 9).

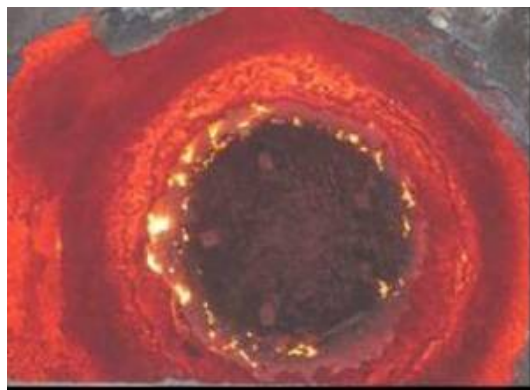


Figura 8 – Vista do vazio interno no convertedor.

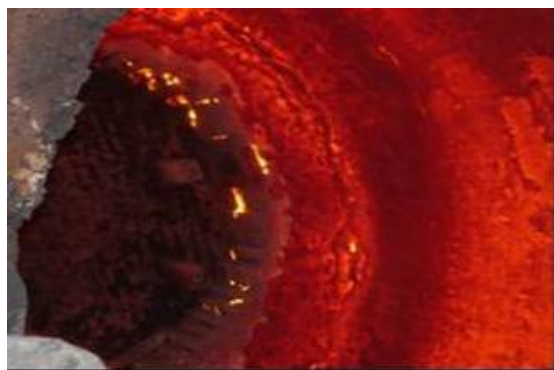


Figura 9 – Detalhe do fundo após queda dos tijolos do fundo.

Dentro desta situação, a ação correta seria colocar um novo fundo no convertedor, mas a aciaria não dispunha de uma nova montagem de fundo para colocação no convertedor, pois uma montagem do fundo requer um tempo hábil para produção dos tijolos refratários no fornecedor em Belo Horizonte e envio para

montagem do fundo na usina em Timóteo, e como a troca do fundo tinha ocorrido precocemente, o novo fundo ainda não tinha começado a ser fabricado. Para aguardar o novo fundo o convertedor necessitaria ficar parado por aproximadamente sete dias. A equipe reuniu em caráter de emergência e decidiu preencher o fundo completamente com massa refratária Stampmag FP. Tratava-se de uma ação ousada e inédita para este tipo de convertedor. Esta ação permitiu a produção de 373 corridas no convertedor, tempo suficiente para produção do novo fundo. A somatória destes problemas com o fundo do convertedor, aliada a necessidade da realização de cinco trocas do fundo durante a campanha do revestimento refratário do convertedor, reduziu para 494 corridas médias do fundo na campanha refratário do convertedor em 2007 (Figura 10).

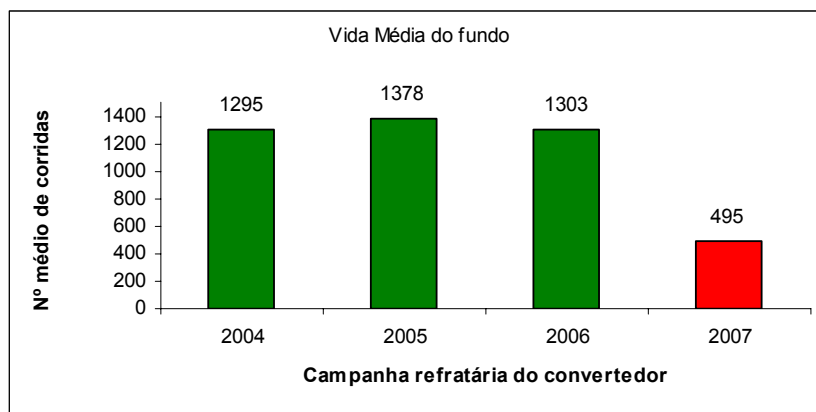


Figura 10 – Vida média do fundo do MRP-L

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Análise e Solução dos Problemas

O grupo anteriormente montado para estudar as causas iniciais foi deslocado para dedicar-se exclusivamente neste assunto, com a imersão de pessoas da operação, metalurgia do processo, manutenção, refratários e fornecedores, objetivando entender e eliminar as causas que estavam levando ao vazamento de metal na interface do refratário do fundo intercambiável com a parte inferior do revestimento do vaso. Este grupo levantou as seguintes variáveis:

- análise da qualidade da matéria prima (tijolos e massa refratária);
- deficiência no preenchimento da junção;
- deslocamento de tijolos do fundo; e
- ajustes no convertedor.

3.1.1 Análise das propriedades físico-química dos refratários e massa no fornecedor

Realizou-se uma avaliação das propriedades físico-químicas dos tijolos (Grafimag-13-GSY) e massa refratária (Stampmag-FL-PA) utilizados no fundo do convertedor MRP-L.

Os principais ensaios foram:

- RCTA: Resistência a compressão a temperatura ambiente;
- PA: Porosidade aparente;
- DMA: Densidade de massa aparente; e
- RFQ: Resistência flexão a quente.

Não foi encontrada nenhuma anormalidade nas propriedades físicas e químicas nos produtos analisados, o grupo partiu para as ações voltadas para as variáveis anteriormente levantadas:

3.1.2 Deficiências no preenchimento da junção

Uma revisão dos procedimentos de montagem, aliada as análises dos vídeos feitos durante a remoção dos fundos, foi verificado que a condição atual não oferecia segurança, pois após a colocação do novo fundo era necessário aquecê-lo por duas horas, para posteriormente adicionar a massa refratária pelo soquete, só que este procedimento permitia a queda de escória da lateral interna do convertedor na interface do tijolo do fundo com o tijolo do vaso, impedindo o deslocamento da massa refratária para a base do fundo, deixando assim um espaço vazio que posteriormente poderia levar ao vazamento de metal (Figuras 11 e 12). Dentro desta ótica, foi então decidido pelo grupo o desenvolvimento de um novo método de injeção de massa refratária para preenchimento da interface dos tijolos do fundo móvel com os tijolos da lateral do convertedor, à partir do fundo do convertedor. Tratava-se de uma metodologia inédita, com apenas suspeita de uma situação similar empregado no Japão, mas não confirmada.



Figura 11 – Escória caída sob o fundo antes da adição da massa.



Figura 12 – Falha no preenchimento da massa refrataria

Para esta nova metodologia, era necessário o desenvolvimento de uma nova massa refratária, pois o grupo estava buscando a injeção de massa refratária pelo fundo do convertedor e não mais pelo topo (soquete) como anteriormente, além disso, a massa atual não possuía fluidez a temperatura baixa, o que impedia sua utilização. Era então necessário desenvolver uma nova massa refratária que pudesse apresentar características de fluidez excelente, permitindo assim seu deslocamento da interface inicial até a superfície superior do tijolo do fundo móvel do

MRP-L, à temperatura ambiente, garantindo assim o completo preenchimento de toda área do fundo do convertedor.

O desenvolvimento da nova massa refratária ficou na responsabilidade do centro de pesquisa do fornecedor de refratários, com o acompanhamento da equipe técnica da ArcelorMittal Inox Brasil. Assim o fornecedor desenvolveu uma nova massa inédita para siderurgia, com fluência livre a qualquer temperatura, além de uma granulométrica mais fina, o que permitia sua maior fluidez. Esta nova massa desenvolvida exclusivamente para este projeto possui propriedades adequadas para injeção na troca a quente do fundo e utilização na junção fundo/parede do MRP-L.

A nova massa desenvolvida obteve o nome de Stampamag EXP2007 03, cujas características mais importantes são:

- fluência livre a qualquer temperatura;
- granulométrica mais fina; e
- propriedades físico-químicas excelentes.

A massa anteriormente utilizada para preenchimento da função do fundo móvel necessitava de aquecimento para fluir, já esta nova massa apresentou fluência tanto na temperatura ambiente como em alta temperatura (figura 19), esta característica vislumbrou um ganho importantíssimo de tempo na troca do fundo visto que a nova massa eliminava a necessidade do aquecimento inicial, que era de duas horas conforme prática anterior, além da possibilidade da continuação do projeto da injeção de massa pelo fundo do convertedor;

Para verificar a eficiência desta nova massa, foi realizado testes de caracterização química e física, da nova massa, além da confecção de um protótipo em chapa metálica, em tamanho real quando comparado ao fundo do MRP-L para os testes de projeção da massa em laboratório. Pois um teste in loco poderia acarretar em enormes prejuízos para AcerlorMittal Inox Brasil, caso ocorresse alguma falha com a nova massa (Figuras 13 e 14).

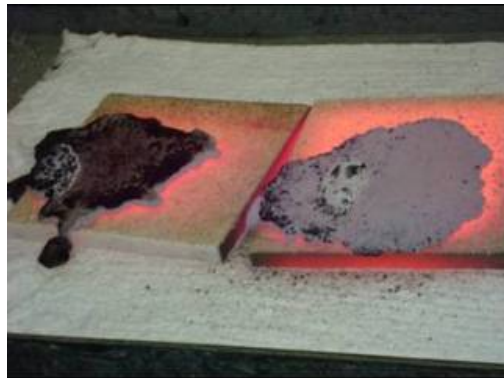


Figura 13 – Teste de fluidez da massa refratária.



Figura 14 – Protótipo em metal para teste da injeção de massa.

Outro ponto importante foi à definição de uma máquina adequada para realização da injeção da massa, visto que na nova metodologia de injeção a massa entraria por pressão a partir do fundo do convertedor MRP-L.

3.1.3 Deslocamento dos tijolos do fundo

Durante o aquecimento de duas horas para projeção da massa pelo soquete, a fita metálica dilatava e soltava permitindo o deslocamento dos tijolos dentro do forno, antes do preenchimento da interface dos tijolos do fundo móvel com os tijolos do convertedor, ficando grandes gretas entre os tijolos do fundo, que posteriormente permitiria a penetração de gusa durante a produção de aço (Figura 15).

Para evitar o deslocamento dos tijolos, quando este é movido para o fundo do convertedor era utilizada uma cintagem metálica em volta dos tijolos laterais do fundo, similar ao processo de cintagem de bobinas após a laminação (Figura 16).



Figura 15 – Gusa retirado das gretas formadas entre os tijolos do fundo



Figura 16 - Cintagem dos tijolos do fundo do MRP-L

Para eliminar esta falha o grupo decidiu inicialmente desenvolver um processo de colagem dos tijolos da borda do fundo, mas com o sucesso da nova massa refratária que eliminaria a necessidade de aquecimento do fundo antes da injeção da massa, o grupo verificou que esta opção não seria mais necessária e para garantir que durante o basculamento do vaso os tijolos não tivessem mais o comportamento ocorrido no terceiro acidente (queda dos tijolos por deslizamento), o grupo verificou que a melhor situação era mudar o formato dos tijolos que compunham o novo fundo para um sistema macho fêmea, impedindo que os tijolos deslizassem entre si.

Além da mudança no formato dos tijolos, foram modificados também os tipos de tijolos e posicionamento no fundo do vaso, garantindo assim uma maior eficiência na sua vida.

3.1.4 Ajustes no convertedor

Foi realizado ajuste no sistema de travamento das alavancas do fundo do convertedor MRP-L (Estas avalancas tem a função de ajudar na fixação do fundo móvel com o vaso), além da definição dos pontos para injeção da massa refratária. Todas estas ações foram realizadas pela equipe da manutenção com apoio da engenharia, sendo que para os pontos de injeção da massa foi decidido coloca-lo em quatro pontos eqüidistantes na base do fundo móvel do convertedor, através da furação do fundo e colocação de dispositivos com sistema de engate rápido, para acoplamento das mangueiras de transferência da massa do carro de injeção para o vaso (Figura 17).



Figura 17 – Destaque dos pontos de adição adicionados no fundo do vaso.

4.3 Implantação do Sistema na Troca do Fundo.

Como se tratava de uma nova experiência, alguns cuidados foram tomados, como complemento de uma tonelada de massa pelo soquete, como forma de garantia do total preenchimento do fundo, e nas primeiras 5 corridas não foi feito o esgotamento total da escória para evitar riscos de deslocamento dos tijolos do fundo, visualização pelo soquete mostrou que houve completo preenchimento do fundo (Figuras 18 e 19).



Figura 18 – Visão do soquete da nova adição

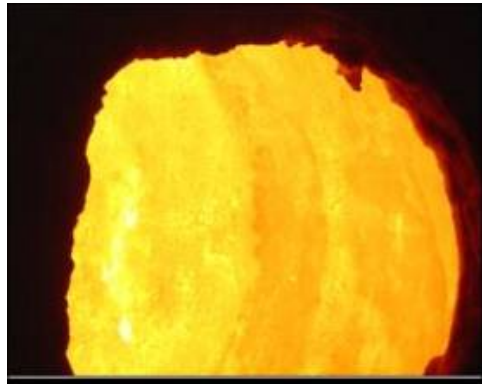


Figura 19 – Destaque do preenchimento da junção

Após a produção da primeira corrida foi feita medição da altura da sola e verificou-se que a mesma encontrava com +30 cm. (isto significava uma adição de volume desnecessário na superfície do fundo, pois 10 cm de cobertura seria suficiente). Demonstrando que não havia a necessidade de jogarmos mais um tonelada de massa pelo soquete e poderíamos retirar uma tonelada de massa injetada pelo fundo, reduzindo assim para 7,3 t de massa total adicionada.

Este fundo com a nova tecnologia de injeção de massa e travamento dos tijolos refratários permitiu voltarmos para patamares elevados de vida de um fundo, sendo que na segunda troca tivemos o melhor resultado de vida de fundo do MRP-L, totalizando 1824 corridas com um único fundo (Figura 20), para um fluxo produtivo conforme Figura 21.

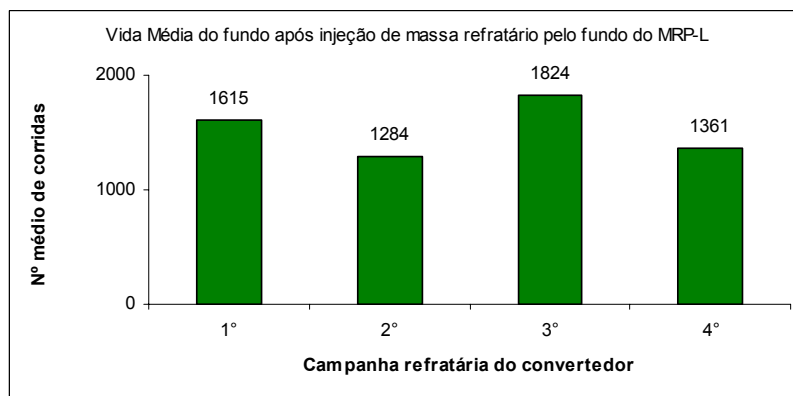


Figura 20 – Vida média do fundo do convertedor após injeção de massa pelo fundo.

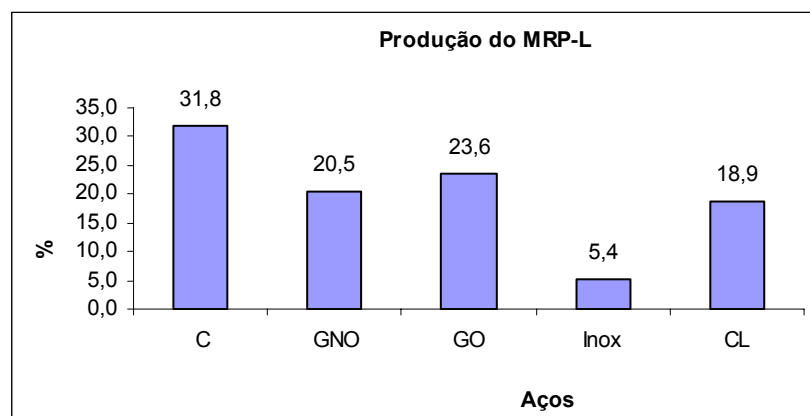


Figura 21 – fluxo produtivo no convertedor após injeção de massa pelo fundo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 pode-se ver os resultados da Massa desenvolvida pelo centro de pesquisa do fornecedor, comparada com a massa anterior.

Tabela 1 - Comparação entre os valores da massa STAMPMAG SXP-2007-03

	FL-PA	EXP-2007-03	Diferença
d.a. (g/cm ³)	2,52	2,47	
p.a. (%)	17,4	17,3	
RCTA (MPa)	15,4	19,6	27%
RFQ (1400°C) (MPa)	1,5	2,0	33%
Corrosão metal (%)	3,2	2,4	-25%
Corrosão escória (%)	39,7	32,5	-18%

4.2 Testes de Injeção da Massa em Laboratório

Nos testes realizados no dias 10 e 11/07/2007 foram utilizados dois pontos de injeção de massa no fundo equidistantes 180°, sendo injetado aproximadamente duas toneladas de Stampmag EXP 2007 03, com tempo médio de sete minutos por tonelada injetada (uma máquina de injeção). A máquina de injeção trabalhou com aproximadamente 30% da capacidade máxima de pressão hidráulica e durante o segundo teste foram adicionados alguns pedaços de escória de aço carbono da ArcelorMittal Inox Brasil, que não impediu a fluidez da massa e do início ao fim da injeção não foi observado em nenhum ponto segregação granulométrica na massa injetada (Figuras 22 e 23).



Figura 22 – Protótipo para teste de injeção da massa

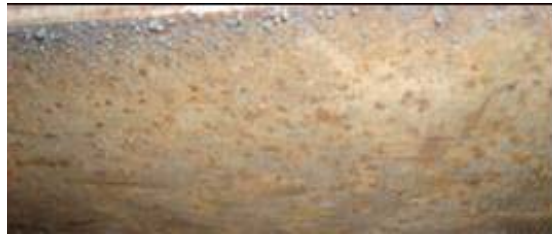


Figura 23 – Massa com excelente fluidez

Observa que a nova massa possui melhor resistência quando comparado a massa anteriormente utilizada, além de um menor potencial de corrosão, tanto pelo metal como pela escória, fatores que garantem maior resistência na junção do tijolo do fundo com os tijolos da lateral do convertedor. Na campanha após a troca do revestimento refratário do convertedor, os novos fundos que entraram em operação mostraram uma evolução quando comparado os fundos de campanhas anteriores, o que permitiu a recuperar o potencial de produção do MRP-L (Figura 24).

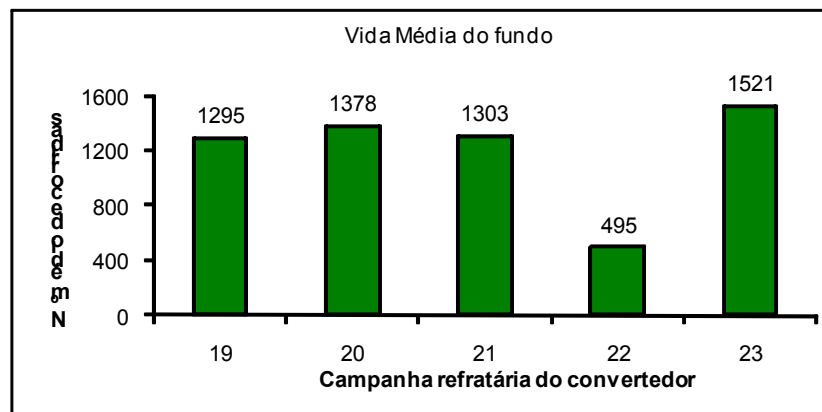


Figura 24 – fluxo produtivo no convertedor após injeção de massa pelo fundo.

5 CONCLUSÕES

- Os ensaios de laboratório ocorreram conforme programado, avaliando cada etapa dos ensaios e não apresentaram resultado que comprometessem a aplicação dos produtos refratários.
- A nova massa refratária desenvolvida para esta aplicação possui excelentes resultados de fluidez e resistência a corrosão por escória e Metal, quando comparada a massa anteriormente utilizada;
- A máquina utilizada é adequada a aplicação do produto
- Houve garantia de preenchimento completo na junção do fundo;
- Ganhos de 2 horas na troca do fundo por não aquecimento do vaso antes da injeção da massa.
- A massa é de fácil manuseio sendo fornecida pronta para uso.

Agradecimentos

Os autores agradecem a toda equipe da Aciaria da ArcelorMittal Inox Brasil, Engenharia e Magnesita SA, pelo envolvimento e dedicação na execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 KORJA, S.C.; GEORGE, A. Selection of bottom parameters in combined blown steelmaking. *Ironmaking and Steelmaking*, v. 15, n. 3, p. 127-33, 1988.