

REPARO NO CADINHO DO ALTO-FORNO 1 APÓS PENETRAÇÃO DE GUSA E DESLOCAMENTOS E TRINCAS NOS BLOCOS DE CARBONO¹

Márcio José Veríssimo²
Mauro Vivaldino Fernandes³
Cesar Almeida Assis⁴
Walmir Alves Duarte⁵

Resumo

O Alto-Forno 1 da Usiminas/Ipatinga teve sua 6ª Campanha interrompida em dezembro/2008 face à crise econômica mundial. Optou-se pela parada do alto-forno abaixando a carga até o nível das ventaneiras, não realização da corrida de salamandra e pelo resfriamento natural do alto-forno. Na limpeza parcial do cadinho, prevendo o retorno operacional, foi verificado que vários blocos de carbono estavam deslocados e danificados. Quando da retirada desses blocos foi constatada a penetração de gusa entre os blocos de carbono em algumas regiões. No reparo efetuado foram removidos e substituídos todos os blocos de carbono danificados, realizada a remoção parcial da salamandra e a remontagem do cadinho. O trabalho em questão apresenta a metodologia utilizada no reparo parcial do cadinho, além da estabilidade deste após retorno em operação do alto-forno.

Palavras-chave: alto-forno, cadinho, blocos de carbono.

BLAST FURNACE 1 HEARTH REPAIR AFTER HOT METAL PENETRATION AND SHIFTS AND CRACKS IN CARBON BRICKS

Abstract

The Usiminas Ipatinga Blast Furnace 1 interrupted its sixth campaign due to global economic crises. The blow down was conducted with probe lowering to the tuyeres level, without salamander cast and air cooling of the blast furnace. During the partial hearth clean up and predicting the blow in, it was found that several carbon bricks were displaced and damage. It was been found pig iron penetration between the carbon bricks in some spots. The hearth was remanufacturing after replacement of damage bricks and partial removal of the salamander. The paper in question presents the methodology used in the partial repair of the hearth, and after the return of stability in operation of blast furnace.

Key-words: Blast furnace; Hearth; Carbon bricks.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Supervisor de Manutenção, Gerência de Manutenção Civil e Refratários; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil

³ Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Gerência Técnica de Redução; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Gerência Técnica de Redução; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil.

⁵ Técnico de Produção, Gerência Técnica de Redução; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A Usina de Ipatinga possui três altos-fornos, sendo os Altos-Fornos 1 e 2, que possuem mesmo volume, responsáveis por cerca de 30% da produção de gusa.

A última grande reforma do Alto-Forno 1 (AF 1) ocorreu em 1997, sendo a próxima reforma prevista para 2013. Em 2007, após 10 anos de campanha, o AF 1 foi submetido a um *gunning* a frio (projeção refratária com acesso do homem no interior do forno) no intuito de garantir uma melhor estabilidade operacional.

No final de 2008, face à crise econômica mundial, foi necessária uma acentuada redução de produção de gusa. Na Usina de Ipatinga foram interrompidas as produções dos AF's 1 e 2 e reduzida drasticamente a do AF 3. No caso dos AF's 1 e 2, procedeu-se ao abaixamento de carga até o nível das ventaneiras e à parada de sopro sem a corrida de salamandra (dezembro/2008).

O AF 1 ficou desativado por cerca de um ano e o AF 2 por seis meses.

No presente trabalho é mostrada como foi realizada a operação de parada com sonda baixa do AF 1 e o procedimento de limpeza e reparo parcial do cadinho. No AF 2 foi realizada a troca de todo o refratário da parede, além da troca da carcaça metálica da região da rampa e ventre.

O AF 1 teve seu início de operação em 1964 e suas principais características são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Principais características do AF 1

Itens	Unidade	Valor
Volume interno	m ³	885
Volume de trabalho	m ³	775
Diâmetro do cadinho	m	7,0
Capacidade de produção	t/dia	2.100
Número de ventaneiras	-	16
Número de furos de gusa	-	2
Topo	-	duplo cone
Sistema de granulação de escória	-	convencional
Temperatura de sopro máxima	°C	1.150
Refrigeração rampa, ventre e cuba	-	Placas de cobre
Refrigeração do cadinho	-	calha transbordante
Início da campanha atual	-	28/01/2010

2 RESULTADOS OPERACIONAIS DO ALTO-FORNO 1

2.1 Produção e Produtividade

Ao longo destes 47 anos de operação do AF 1, foi realizada uma série de melhorias e técnicas operacionais, que muito contribuíram para elevar a sua produtividade, visando reduzir custos e aumentar a duração de sua campanha. Melhorias na qualidade do coque e sinter (contribuindo para a maior estabilidade operacional), instalação de placas de proteção na goela (evitando o desgaste prematuro da goela e, com isso, a distribuição irregular de carga no topo do forno), operação com baixa velocidade de sopro, carregamento de ilmenita (visando a preservação do cadinho) e a implantação do sistema de injeção de finos, contribuíram para o aumento significativo de produção e produtividade, conforme pode ser visto na Figura 1.^(1,2)

A 3ª Campanha do AF 1 caracterizou-se pelo aproveitamento do cadinho da campanha anterior. Este fato também foi repetido na 7ª Campanha.

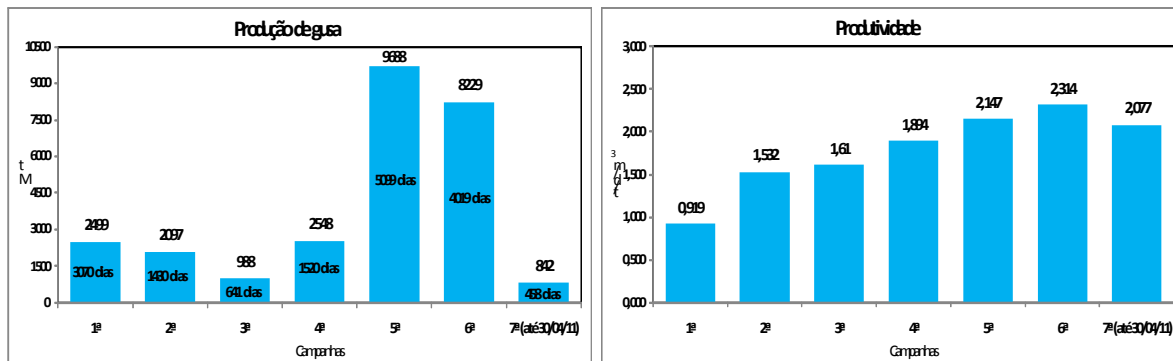


Figura 1. Produção e produtividade de gusa ao longo das campanhas do AF 1.

2.2 Combustível

Na Figura 2 é apresentada a comparação do consumo de combustíveis (*fuel-rate*) obtido nas campanhas do AF 1. Na 1ª campanha, o AF 1 operou *all-coke*, ou seja, sem injeções de combustíveis auxiliares. Nas 2ª, 3ª e 4ª Campanhas foi utilizado óleo combustível como injeção auxiliar. No início da década de 1980, face à crise do petróleo, foi interrompida a injeção de óleo nos altos-fornos de Ipatinga. Em 1993, durante a 5ª Campanha, foi iniciada a injeção de finos de carvão pulverizado que proporcionou uma redução no consumo de coque nas campanhas subsequentes.

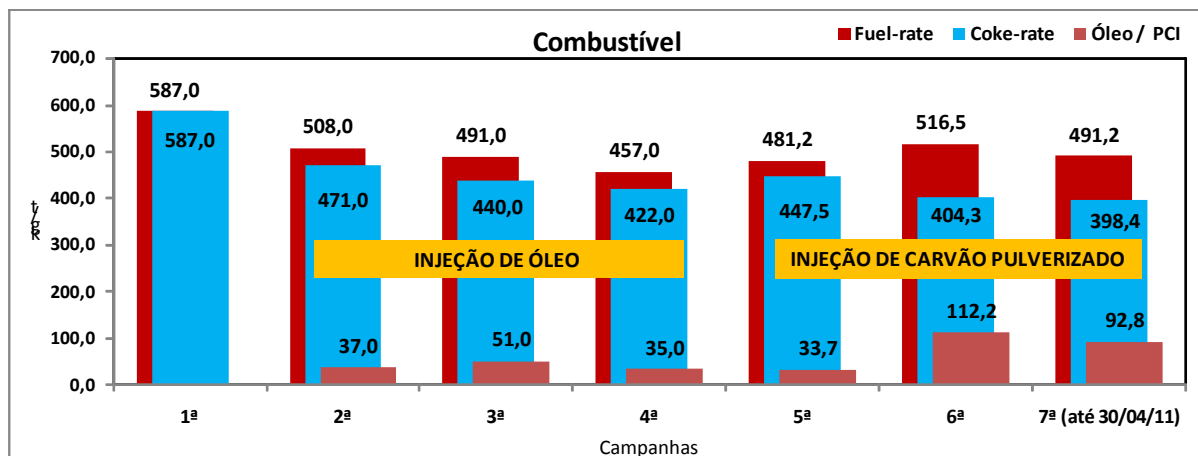


Figura 2. Consumo de combustíveis nas campanhas do Alto-Forno 1.

3. PARADA OPERACIONAL COM SONDA BAIXA

3.1 Abaixamento de carga

Tendo em vista a crise financeira em 2008, ocorreu a interrupção da operação do AF 1 no dia 12/12/2008.

A próxima reforma do AF 1 está programada para 2013. Em dezembro de 2008, após o abaixamento de carga, parada e o resfriamento do forno, verificou-se um desgaste significativo dos refratários, principalmente na região inferior, após cerca de 14 meses da realização do *gunning* a frio. Como consequência e de modo a garantir uma operação estável do AF 1 até a próxima reforma, decidiu-se por promover a recuperação do revestimento refratário através da realização de um novo *gunning* a frio, utilizando a técnica de *shotcrete*.

Para a parada do AF 1 foi empregada a metodologia de desativação do alto-forno com o nível de carga na região das ventaneiras, denominada apagamento a vazio. Esta operação foi realizada com sucesso no mesmo alto-forno em 2007.

A operação especial de abaixamento de carga teve a duração de 11 horas e 34 minutos. A medição de nível de carga foi realizada a cada 15 minutos através da sonda especial montada na plataforma do domo dos regeneradores. Na Figura 3 é apresentada a curva prevista e real de abaixamento de carga.

Não foi verificada nenhuma anormalidade operacional durante a operação especial de abaixamento de carga no AF 1.

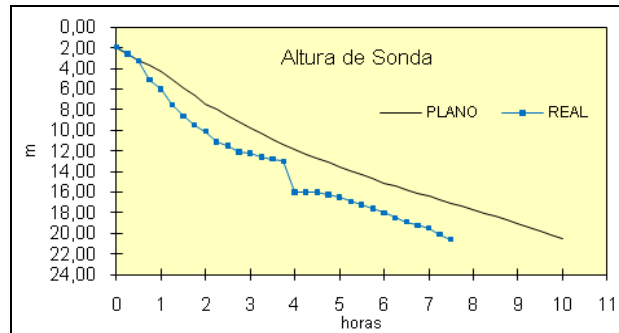


Figura 3. Abaixamento de carga previsto e real.

Na Figura 4 são apresentadas as alterações na vazão de ar soprado e na pressão de sopro, durante o abaixamento de carga. Nenhuma anormalidade foi apresentada.

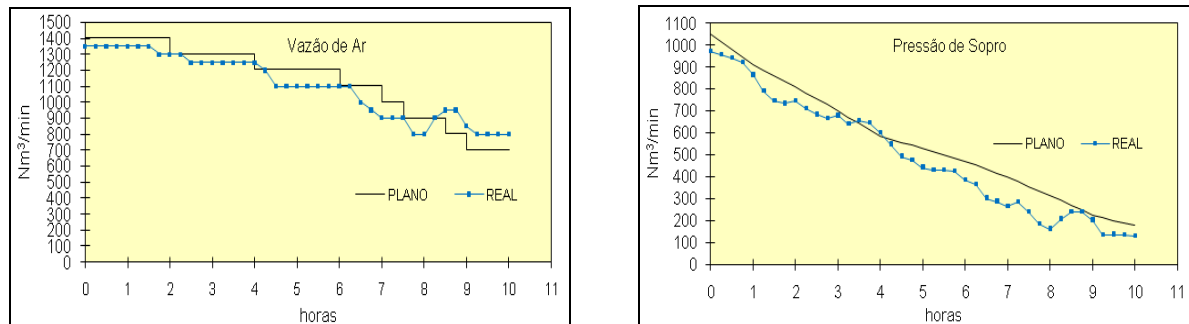


Figura 4. Alterações na vazão e pressão de sopro.

3.2 Limpeza e Projeção Refratária (*Gunning a Frio*)

Primeiramente, foi realizada a demolição do refratário remanescente na parede do alto-forno e a limpeza e o nivelamento de carga.

Para tanto, foi adotada a técnica já aplicada no *gunning a frio* realizada em 2007 no AF 1, em que foi aberta uma janela na carcaça do alto-forno no *ground level* (GL) + 9192 mm, entre as ventaneiras 2 e 16. Através desta abertura foi feito o nivelamento da carga, permitindo a confecção de uma rolha refratária. A rolha refratária, confeccionada sobre a carga remanescente, serviu de base e proteção, possibilitando que homens adentrassem no interior do AF 1 e fizessem a projeção refratária na parede. Na Figura 5 é apresentada a região do anel de ventaneiras do alto-forno, onde foi confeccionada a janela.⁽³⁾

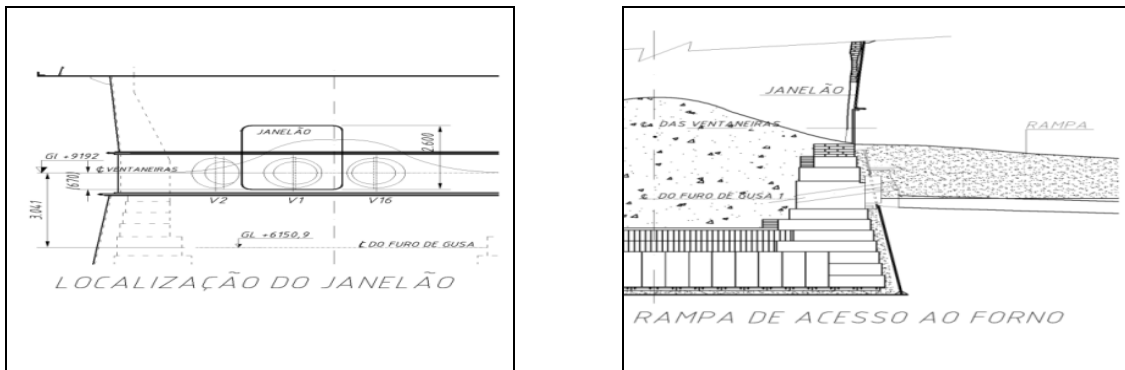


Figura 5. Confeção da janela na carcaça do AF 1.

Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas, esquematicamente, de que forma foram realizadas as atividades de nivelamento da carga remanescente no cadinho, limpeza da parede refratária e comunicação dos furos de gusa (prevendo o retorno operacional).

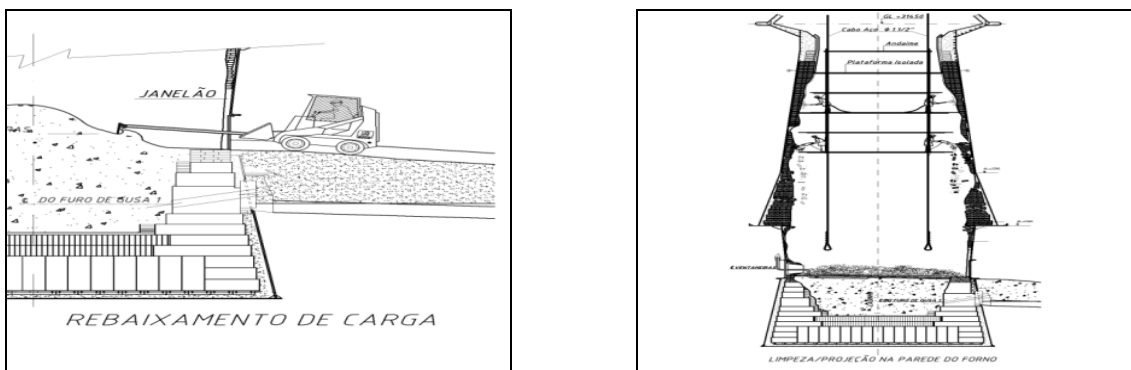


Figura 6. Nivelamento da carga e confecção da rolha refratária.

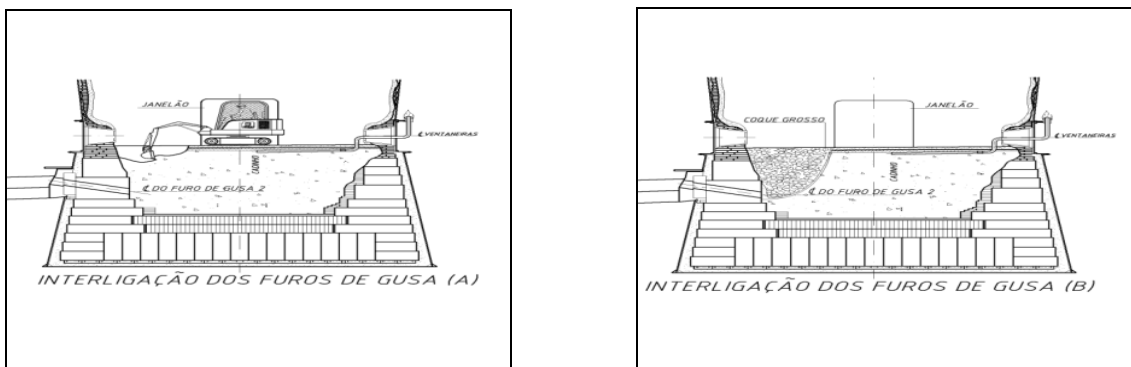


Figura 7. Interligação dos furos de gusa.

4 RECUPERAÇÃO DO CADINHO DO ALTO-FORNO 1

Durante o processo de limpeza parcial do cadinho para interligação dos furos de gusa, foi observado que vários blocos de carbono estavam deslocados, apresentando trincas e danificados estruturalmente. Após a remoção de alguns blocos, verificou-se a ocorrência de penetração de gusa entre blocos de carbono, chegando a atingir a carcaça do forno.

Procedeu-se então, á retirada de todos os blocos danificados. Foi necessária a remoção dos blocos de carbono até a fiada 5 (o cadinho é composto de 12 fiadas), praticamente atingindo a base do cadinho.

4.1 Preparação e Montagem de Estruturas e Dispositivos para Recuperação do Cadinho

Para a recuperação do cadinho sem afetar o restante do revestimento refratário do corpo do alto-forno e garantindo a segurança das pessoas e dos equipamentos, foram desenvolvidos mecanismos de sustentação e acesso apresentados nas Figuras 8, 9 e 10.



Figura 8. Estrutura de sustentação das fiadas de refratários das ventaneiras.



Figura 9. Dispositivos para retirada dos blocos de carbono.



Figura 10. Plataforma e escada de acesso ao interior do cadinho.

4.2 Desmontagem e Análise das Fiadas dos Blocos de carbono

A desmontagem constituiu na retirada dos blocos de carbono, bloco a bloco, procurando minimizar os danos causados por esta atividade. Isto se fez necessário tendo em vista o reaproveitamento dos blocos não danificados, já que não se dispunha de blocos de carbono novos. Todo o procedimento descrito a seguir, foi desenvolvido pela equipe da Usiminas.

Adotou-se o seguinte procedimento:

- limpeza utilizando aspirador na superfície do bloco de carbono;
- análise da situação do bloco (nível de oxidação, lascamentos, trincas, desnível/deslocamentos, juntas abertas, etc.) e, principalmente, de que forma o bloco encontrava-se preso à salamandra;

- levantamento do tamanho da peça e posição em que foi retirada do cadinho (tomando como base a identificação das caixas de refrigeração/ventaneiras);
- fotografia;
- perfuração na parte superior para montagem dos parafusos auto atarrachantes;
- demolição com utilização de martetele pneumático ou rebarbador, da parte do bloco que se encontrava aderida à salamandra e/ou à carcaça;
- posicionamento do parafuso auto atarrachante;
- içamento do bloco com o auxílio de uma talha pneumática de capacidade de 2 toneladas;
- movimentação do bloco através de uma viga que foi montada na circunferência total do cadinho até próximo ao janelão, por onde o bloco era então içado por outra talha até o nível da plataforma;
- retirada do bloco de carbono com o auxílio da ponte rolante da área de corrida; e
- estocagem do bloco na área de corrida para avaliação, limpeza e identificação.

Na Figura 11 é ilustrada de que forma foram retirados os blocos de carbono do cadinho.



Figura 11. Desmontagem e retirada dos blocos de carbono.

Durante o processo de desmontagem das fiadas de blocos de carbono foram observados diversos lascamentos e oxidação nos blocos, desnível das fiadas, infiltrações de ferro solidificado e abertura das juntas (sinais de provável penetração de água no interior do cadinho). As Figuras 12 e 13 demonstram parte do que foi encontrado.



Figura 12. Trinca e deslocamento dos blocos de carbono.



Figura 13. Penetração de gusa entre os blocos de carbono.

4.3 Recuperação, Aquisição e Preparação de Novos Blocos de carbono

As informações levantadas de cada bloco de carbono retirado do cadinho foram agrupadas. Procedeu-se então, à análise de quais blocos poderiam ser reaproveitados e a quantidade necessária de blocos novos que precisariam ser adquiridos.

Nesta fase foram realizados o mapeamento do cadinho e a redistribuição dos blocos de carbono. Enquanto os blocos que poderiam ser recuperados estavam sendo marcados, deu-se início à fase de busca e aquisição de blocos novos. Como a aquisição de novas peças junto aos fornecedores demandava um tempo muito longo, optou-se por adquirir blocos de carbono disponíveis em outra siderúrgica.

Após a aquisição das novas peças deu-se início às seguintes etapas:

- marcação e identificação dos blocos de carbono;
- corte;
- usinagem; e
- inspeção.

Na Figura 14 mostram-se os blocos de carbono marcados e estocados após passarem pelo processo de corte e usinagem.



Figura 14. Identificação e estocagem dos blocos.

4.4 Remoção Parcial da Dalamandra

Após estudos realizados no Centro de Tecnologia da Usiminas, foi estimada a expansão que ocorreria na salamandra, aproximadamente 300 mm, durante o retorno operacional do alto-forno. Definiu-se então, pelo corte da salamandra que estava próxima às fiadas da parede do cadinho. Para esta etapa foram seguidos alguns procedimentos, cuja finalidade era proteger os blocos de carbono da região da soleira:

- forração de toda a superfície dos blocos de carbono da fiada 5 com duas camadas de papelão, a fim de se evitar danos a superfície dos blocos;
- forração com duas camadas de fibra cerâmica de uma polegada acima da camada de papelão, a fim de se obter a proteção térmica da superfície dos blocos;
- forração do interior do cadinho com uma camada de aproximadamente 200 mm de areia, criando uma proteção térmica e de impacto;
- corte da salamandra utilizando oxigênio;
- retirada dos cascões; e
- limpeza do interior do cadinho para início da montagem dos blocos de carbono.

Na Figura 15 é apresentada de que forma foi realizada a proteção do cadinho para a realização da atividade de corte da salamandra.



Figura 15. Proteção do cadinho prevendo o corte da salamandra.

4.5 Montagem dos Blocos de Carbono

Concluída a etapa de corte da salamandra, deu-se início à montagem dos blocos de carbono do cadinho conforme demonstrado na Figura 16, seguindo os procedimentos específicos de montagem de um cadinho:

- definição e marcação dos ângulos 0°, 90°, 180° e 270° da carcaça;
- definição do nivelamento da fiada com o auxílio de um topógrafo para iniciar o assentamento da fiada;
- juntas de argamassa de 0,5 mm;
- colocação de cunhas entre o bloco e a carcaça;
- ajuste da fiada utilizando macaco de 3 t, após a montagem de 45° da fiada; E
- introdução de massa entre a carcaça e a fiada de bloco de carbono, após a conclusão da montagem da fiada. Para esta tarefa foi desenvolvido um gabarito para conferir o adensamento da socagem da massa.



Figura 16. Montagem dos blocos de carbono.

4.6 Criação de Parede de Sacrifício para Proteção do Cadinho

Durante a fase de montagem dos blocos de carbono (da fiada 5 à fiada 12) foi montada uma forma metálica na circunferência do cadinho, respeitando uma distância mínima de 150 mm da salamandra. Esta forma foi montada de forma a permitir a socagem a frio de massa. Para tal etapa seguiu-se o procedimento do fabricante para socagem da massa. A função desta massa foi criar uma proteção para os blocos de carbono durante o reinício de operação do alto-forno.

A montagem do cadinho com o reaproveitamento de blocos de carbono de tamanhos diferentes proporcionou a formação de uma excelente ancoragem para a massa, a fim de evitar seu desprendimento da parede. Na Figura 17 é demonstrado o processo de introdução da massa entre o bloco e a salamandra.



Figura 17. Introdução da massa entre o bloco de carbono e a salamandra.

Depois de concluída a montagem do cadinho, deu-se início à montagem das fiadas de tijolos aluminosos (abaixo das ventaneiras) e montagem das peças refratárias das ventaneiras.

5 DISCUSSÕES TÉCNICAS

5.1 Possíveis Causas para os Problemas Encontrados no Cadinho do AF 1

A partir de discussões técnicas foram levantadas as prováveis causas para o deslocamento dos blocos de carbono e a consequente infiltração de gusa entre os blocos. Dentre estas se destacam:

- possibilidade do desgaste acentuado dos blocos de carbono que compõem a fiada 12 (Figura 18), posicionada abaixo das ventaneiras, ter comprometido o equilíbrio estrutural das fiadas inferiores, ou seja, os blocos de carbono que estariam firmados pela última fiada superior ficaram soltos ao passo que o gusa obteve espaço para infiltrar pelas regiões de maior deslocamento;
- possibilidade de deslocamento dos blocos durante as dinamitações de cascões metálicos, principalmente, na região da rampa. Presume-se que as vibrações geradas pelas explosões possam ter sido propagadas para a parte inferior do alto-forno e, conseqüentemente, desencadeado o desalinhamento das fiadas de blocos de carbono;
- possibilidade da ocorrência de expansão da salamandra quando do reinício de marcha após o *gunning* de 2007. Naquela ocasião, o AF 1 parou por 16 dias e não houve a corrida de salamandra. Salienta-se que não foram verificadas elevações consideráveis de temperatura nos termopares do cadinho após a referida parada; e

- combinação das hipóteses anteriores, além de outros incidentes, como a possibilidade de infiltração de água no interior do cadinho, afetando a segurança estrutural do revestimento refratário do cadinho.



(a) Fiada 11

(b) Fiada 12

Figura 18. Aspectos do revestimento refratário das fiadas (a) e (b) do cadinho do AF 1.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a velocidade de desgaste prevista e a metodologia aplicada no reparo, estima-se uma vida útil do cadinho do AF 1 em torno de 5 anos.

A partir da retomada de produção em janeiro/2010, as temperaturas registradas pelos termopares do cadinho têm-se mantidas estáveis, conforme pode ser observado na Figura 19.

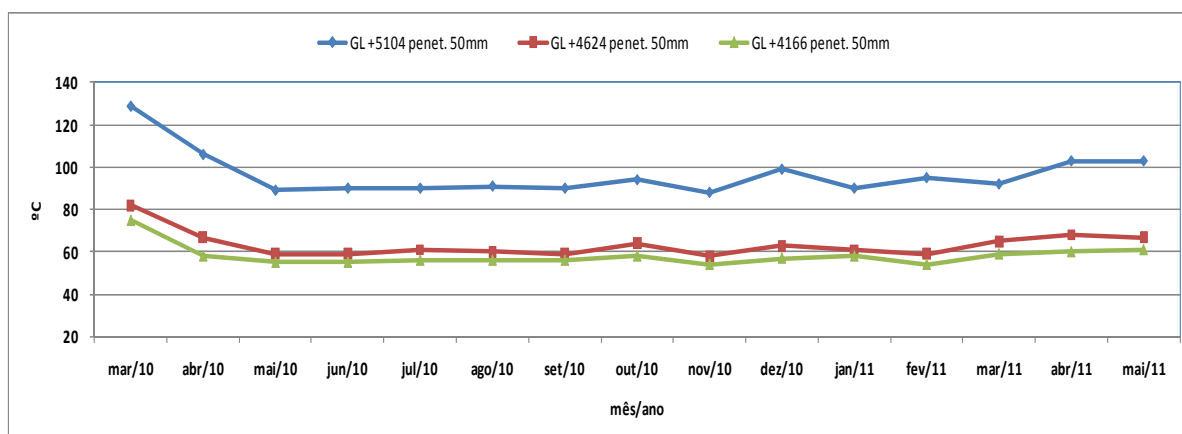


Figura 19. Evolução das temperaturas (média por GL) do cadinho do AF 1.

A performance do cadinho e os resultados operacionais obtidos pelo AF 1, após o reparo executado, demonstram o sucesso na metodologia adotada.

A próxima reforma do AF 1 está prevista para 2013.

REFERÊNCIAS

- 1 MORAIS, A.; ARAÚJO, R.D.; OLIVEIRA, V.C. – Aumento da produtividade dos Altos-Fornos da Usiminas – A Participação da Manutenção – VI Congresso de Manutenção; Setembro de 1991.
- 2 GUIMARÃES, A. C.; COTA, J. M.; OLIVEIRA, M. A. G. – Uso de Proteção sobre a Armadura Fixa da Goela do Alto-Forno – Seminário COMIM/COMAP/ABM; Cubatão, SP; Setembro de 1986.
- 3 COTA, J. M.; ANDRADE, J. O. C.; MATOS, A. E. – Metodologia de Reforma e Resultados das Campanhas dos Altos-Fornos da Usiminas – Siderurgia Latino-Americana – nº 343; Novembro de 1988.