

# REFORMA PARCIAL DO CADINHO DO ALTO-FORNO Nº 1 DA V & M do BRASIL<sup>1</sup>

Jadir das Graças Cruz<sup>2</sup>  
Marcílio Maximiano Gonçalves Júnior<sup>3</sup>  
Cláudio Musso Velloso<sup>4</sup>

## Resumo

Este trabalho tem o objetivo de descrever o desgaste ocorrido no cadinho do Alto-Forno nº 1 da V & M do Brasil em junho de 2008 e as ações posteriores, como a reparação emergencial e os cuidados operacionais até a reparação definitiva, executada em abril de 2009. Até a data da reparação do cadinho, a campanha apresentou 2.696 dias de operação e produziu 2.778.920 toneladas, o que determinou uma produtividade de 2,04 t/m<sup>3</sup>/dia. Procuramos abordar, neste trabalho, os fatores que determinaram a reforma parcial do cadinho e os aspectos relativos à segurança e meio ambiente. A reparação definitiva foi precedida de abaixamento da coluna de carga, drenagem da salamandra e esvaziamento do cadinho. Após definição e identificação da área a ser reparada, a carcaça do Alto Forno e os blocos de carbono do contorno daquela área foram perfurados e pinos metálicos foram inseridos e soldados para a fixação dos blocos. Em seguida os blocos danificados foram removidos e novos blocos de carbono de menores dimensões foram montados, refazendo o revestimento daquela região. Após conclusão da montagem dos blocos foi feita injeção de massa carbonosa, para eliminação dos vazios entre os blocos e a carcaça e novos termopares foram instalados para melhorar o monitoramento térmico da região reparada.

**Palavras-chave:** Reparo emergencial; Planejamento de parada; Reforma parcial.

## PARTIAL REFORM OF THE HEARTH OF THE V&M DO BRASIL BLAST FURNACE No.1

### Abstract

This paper aims to justify the erosion occurred in the hearth of Blast Furnace n.1 of the V & M do BRASIL in June 2008 and the subsequent actions taken, such as an emergency repair and operational care until the repair finished in April 2009. The campaign had 2.696 days of operation and produced 2.778.920 tons, representing a yield of 2,04 t/m<sup>3</sup>/day until the date of repair of the hearth. We seek to address the factors which led to the partial reform of the hearth, the safety and environmental aspects. The definitive repair was preceded by lowering of the charge column, drainage of the salamander and charge removal of the hearth. After defining and identifying the area to be repaired, the shell and the contour of the carbon blocks were drilled and metal pins were inserted and welded to the fixing of the blocks. Then the damaged carbon blocks were removed and new smaller blocks were mounted, redoing the lining of that region. After successful installation of blocks carbon mass injection was made for the elimination of voids between the blocks and the shell and new thermocouples were installed to improve the thermal monitoring of the repaired area.

**Keywords:** Emergency repair; Planning to stop; Partial reform.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Técnico Metalúrgico, Coordenador Técnico da Gerência de Matérias Primas e Produção de Ferro Gusa da V&M do Brasil;

<sup>3</sup> Técnico Metalúrgico, Supervisor de Produção da Gerência de Matérias Primas e Produção de Ferro Gusa da V&M do Brasil;

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, Gerente de Matérias Primas e Produção de Ferro Gusa da V&M do Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O alto-forno nº 1 da V & M do Brasil é um reator de 505 m<sup>3</sup> de volume útil e 593 m<sup>3</sup> de volume total. Tem 5,5 m de diâmetro de cadinho, utiliza carvão vegetal como redutor e é operado com um único furo de corrida.

A última reforma refratária foi feita em 2001 e o seu revestimento compreende:

- blocos de carbono no cadinho;
- *staves cooler* na rampa, ventre e cuba inferior;
- tijolos carbetos de silício na cuba média; e
- tijolos aluminosos e sílico-aluminosos na cuba superior.

O acompanhamento do perfil de desgaste do revestimento é feito através de 74 termopares, sendo 48 de profundidade e 26 de contato, distribuídos estrategicamente em níveis diferentes de elevação e de inserção na parede refratária.

As Figuras 1 e 2 mostram respectivamente o projeto refratário original da soleira e do cadinho do alto-forno e a disposição dos termopares nos seus vários níveis de altura e de profundidade.

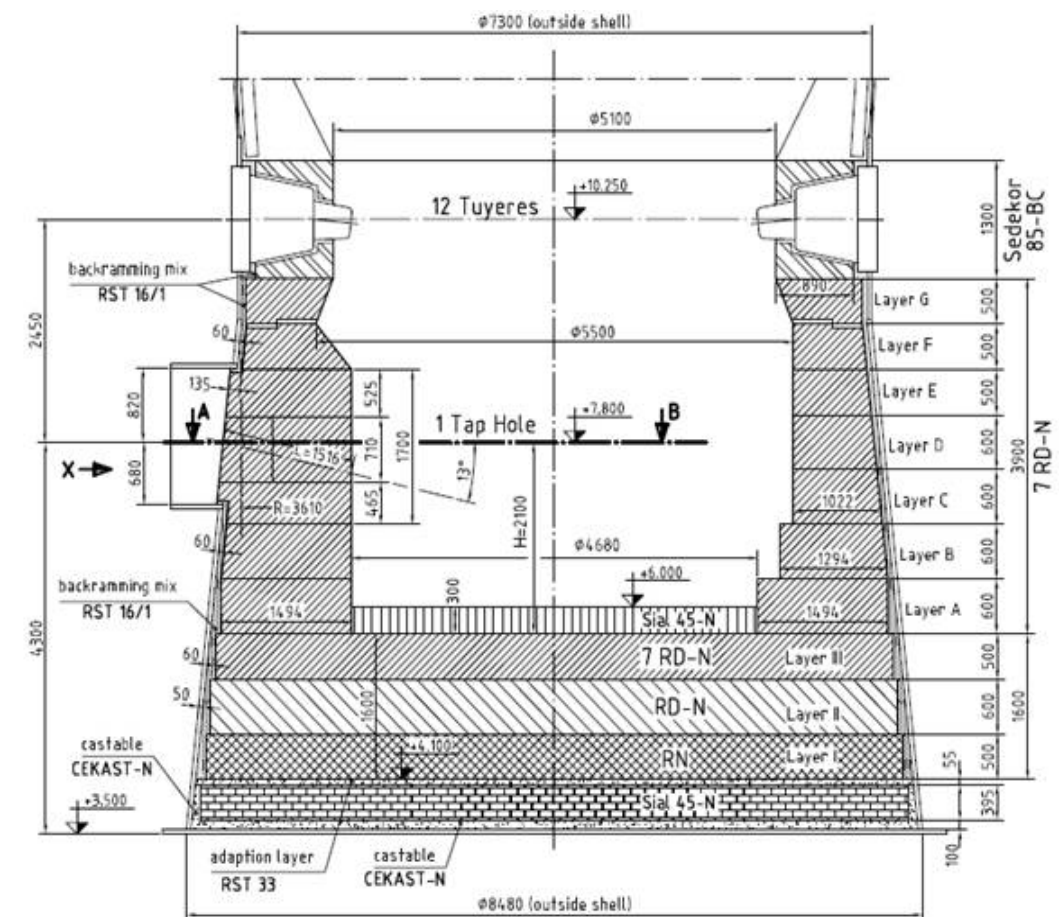


Figura 1. Projeto refratário da soleira e cadinho do AF-I.<sup>(1)</sup>

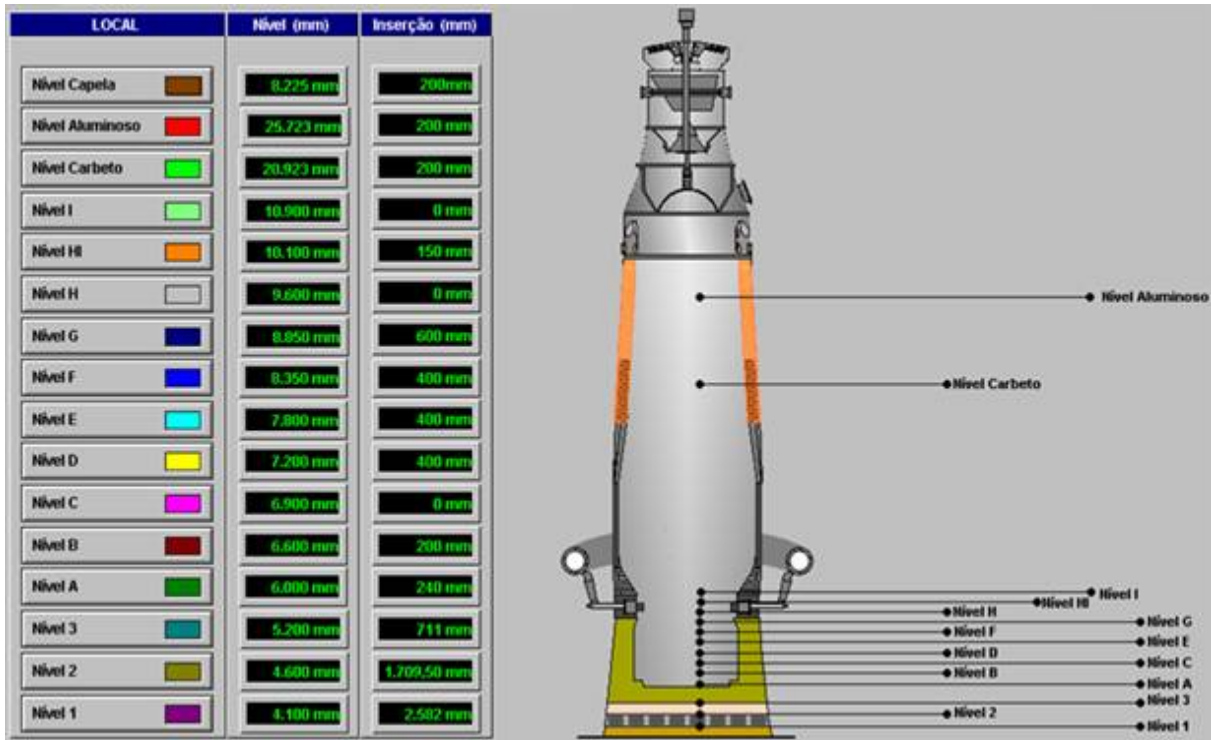


Figura 2. Disposição dos termopares nos níveis de elevação e de inserção na parede refratária.<sup>(2)</sup>

## 2 DETALHES DA OCORRÊNCIA

No dia 11/06/08, ocorreu vazamento de escória líquida na lateral da capela do alto-forno, sendo identificado um furo na carcaça metálica do cadinho, na confluência com a chapa da capela (Figura 3). Esta ocorrência provocou um desligamento emergencial de 74 horas, para identificar e corrigir o problema, o que foi feito através de recuperação da carcaça e reparação refratária da região atingida.

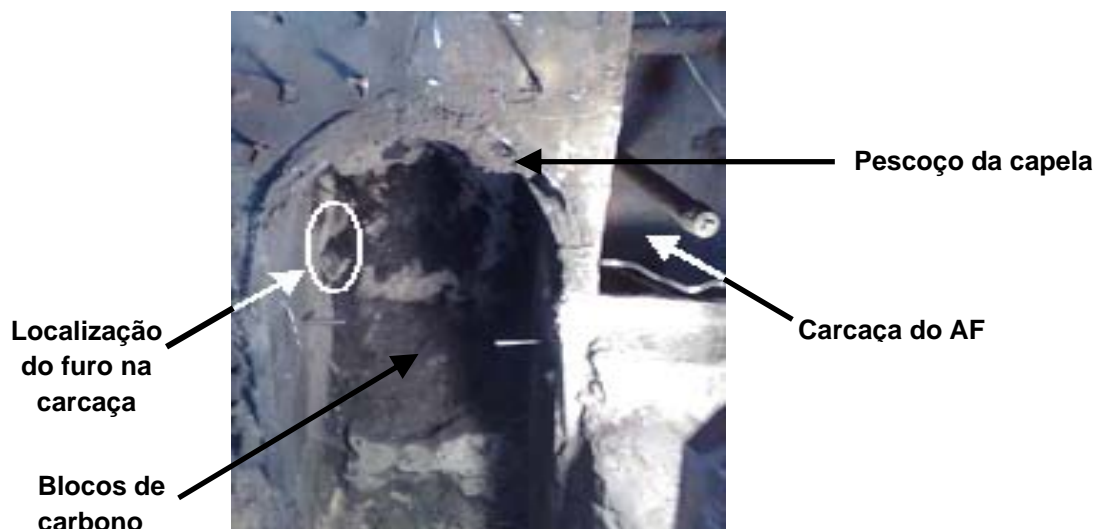


Figura 3. Local da ocorrência do furo, identificado após demolição total do refratário da capela.<sup>(3)</sup>

Uma das causas desta ocorrência foi a perda de comprimento do furo de corrida, devido a falhas seqüenciais de tamponamento do forno no dia anterior. Outra causa foi o desgaste acentuado dos blocos de carbono naquela região (região do furo de

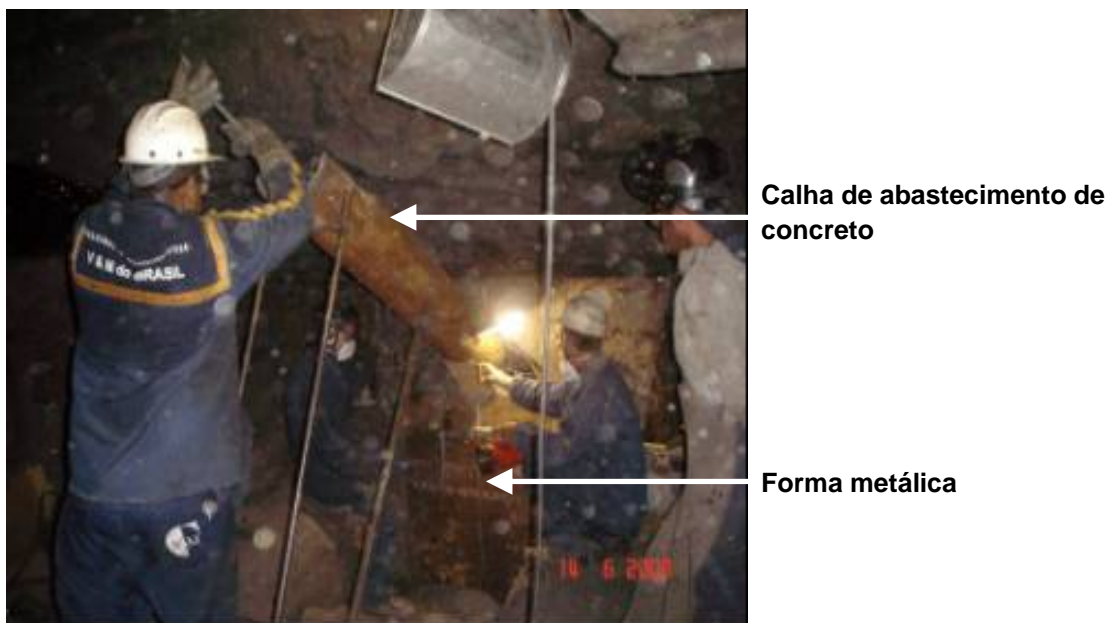


corrida), provocado pela agressão com uso de lanças de oxigênio numa marcha fria ocorrida anteriormente, em fevereiro de 2007.

A Figura 4 mostra a região afetada, onde ocorreu a maior perda dos blocos de carbono, substituída por massa de tamponamento, o que tornou a região fragilizada. A recuperação do revestimento refratário foi feita com concreto aluminoso (70%  $Al_2O_3$ ), sem cimento, à base de carбето de silício (20%  $SiC$ ) e carbono, vertido e vibrado em forma metálica (Figura 5).



**Figura 4.** Desgaste acentuado dos blocos de carbono na região do furo de corrida.<sup>(3)</sup>



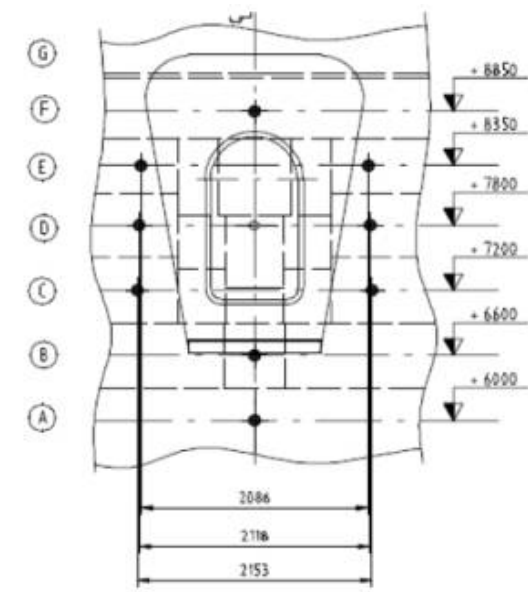
**Figura 5.** Enchimento da forma com o concreto sem cimento vertido.<sup>(3)</sup>

A partir do reparo emergencial, várias outras ações foram tomadas visando uma operação segura até a execução do reparo definitivo:

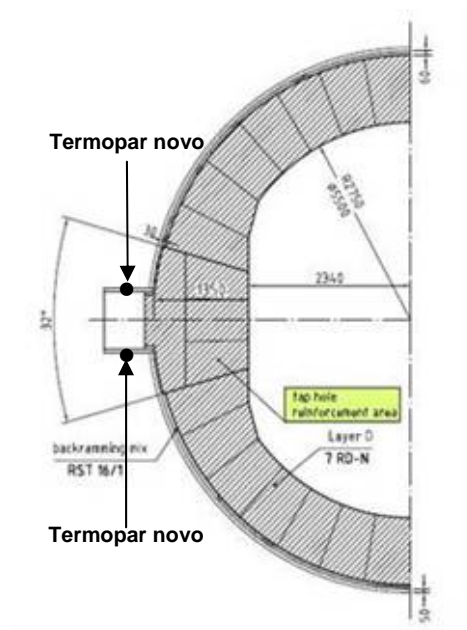
- treinamento simulado de emergência para evacuação da área em caso de vazamento de gusa e explosão;
- alteração da prática de tamponamento, utilizando a técnica do pré-furo seguido de injeção de massa;
- aumento da refrigeração no pescoço da capela;
- utilização de massa de tamponamento de melhor qualidade;
- estudo de causa e efeito via PMCC (manutenção centrada na confiabilidade) para os equipamentos de perfuração e tamponamento;
- testes de laboratório para verificação da aderência do concreto aplicado com os blocos de carbono remanescentes. Os testes foram realizados com temperaturas diferentes e os resultados, que foram satisfatórios, estão evidenciados na Figura 6;
- recuperação dos termopares danificados na área de contorno do furo de corrida e instalação de dois novos termopares no pescoço da capela, conforme projeto apresentado nas Figuras 7 e 8; e
- planejamento da reforma do cadinho.



**Figura 6.** Resultado dos testes para verificação das condições de aderência entre o concreto sem cimento e os blocos de carbono.<sup>(3)</sup>



**Figura 7.** Disposição dos termopares na região do furo de corrida, conforme projeto original.<sup>(4)</sup>



**Figura 8.** Instalação de dois novos termopares no pescoço da capela.<sup>(4)</sup>

Concluído o reparo, o alto-forno voltou à operação normal, sem restrições e esta operação foi conduzida de junho de 2008 até abril de 2009, quando foi feito o reparo definitivo e neste período não se registrou nenhuma anormalidade significativa, que pudesse ser associada ao problema anterior.

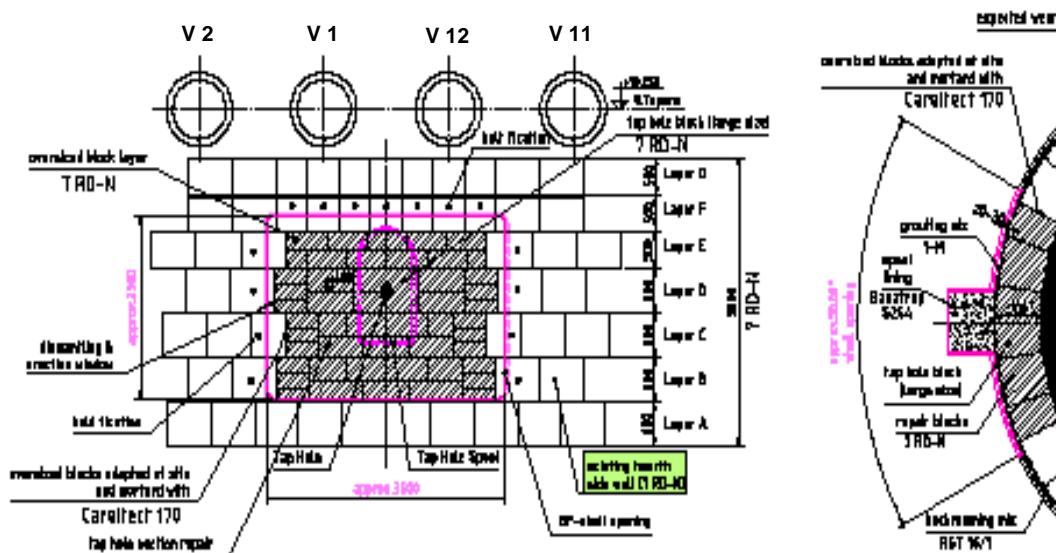
### 3 PLANEJAMENTO DA PARADA PARA REPARAÇÃO DEFINITIVA

O primeiro planejamento para a recuperação definitiva do cadinho previa realização de reparo a quente, em 20 dias, sem entrar no interior do alto-forno.

Foram planejadas as seguintes atividades:

- baixar a coluna de carga até nível das ventaneiras;
- drenar a salamandra;
- desmontar os conjuntos de sopra;
- remover a carga residual pelos orifícios das ventaneiras;
- fazer rolha refratária no cadinho;
- cortar e remover janelão na área a ser recuperada, com dimensões de 3.600 mm x 2.500 mm;
- fixar os blocos remanescentes com pinos de sustentação;
- desmontar os blocos na região do reparo;
- montar os blocos novos;
- soldar nova chapa na região reparada;
- montar tomadas e injetar massa carbonosa em toda a região; e
- implantar novo projeto de termopares.

A Figura 9 mostra a região a ser reparada e detalha a área do janelão que seria cortado para acesso aos blocos de carbono (entre ventaneiras 2 e 11). Mostra também os pinos de fixação dos blocos remanescentes.



**Figura 9.** Área delimitada para abertura do janelão (3.600 mm x 2.500 mm) e posicionamento dos pinos de fixação dos blocos de carbono no contorno da área a ser demolida.<sup>(1)</sup>

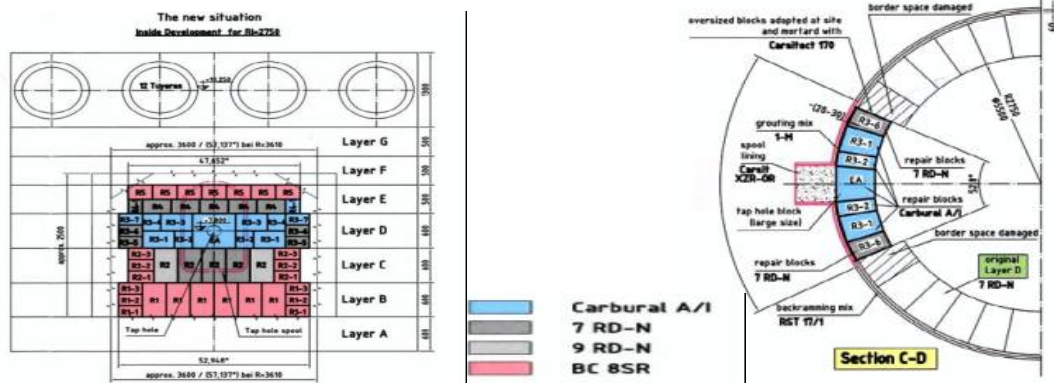
Em função do cenário de crise de mercado, novo planejamento foi estudado com vistas a reduzir custos, aumentando para 50 dias o período da reforma, com realização dos trabalhos em apenas um turno. Esta mudança de planejamento levou à alteração da metodologia de reparação, optando-se pela retirada de parte da carga remanescente do cadinho, possibilitando executar as atividades a frio, pelo interior do alto-forno, sem a necessidade de abrir o janelão na carcaça. Com a nova metodologia de trabalho a área do reparo foi definida por inspeção visual após entrada no alto-forno.



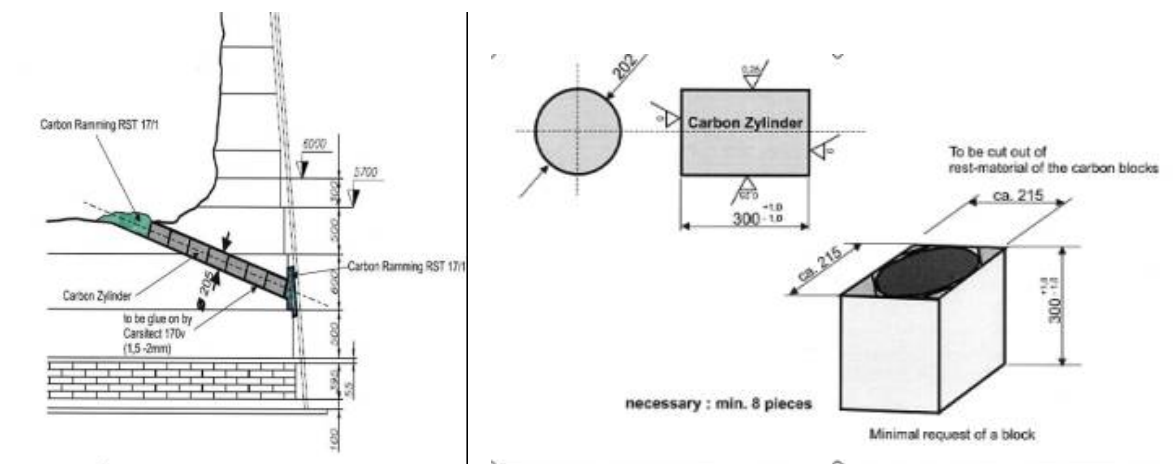
Para viabilizar este reparo, foi necessário:

- adquirir blocos de carbono;
- cortar e usinar os blocos nos tamanhos e formatos definidos no projeto, objetivando tolerância de montagem máxima de 0,3 mm de junta;
- cortar e usinar cilindros maciços de carbono para recompor o furo de drenagem da salamandra;
- pré-montar os blocos para garantir a tolerância estipulada no projeto;
- adquirir material para aplicação de *gunning* convencional na face dos *staves* e na cuba (concreto sílico-aluminoso); e
- adquirir concreto refratário de alta alumina para recomposição da casa das ventaneiras pelo processo de *shotcrete*.

O projeto refratário de recuperação do cadinho foi revisado para atender à nova situação e é apresentado através das Figura 10. Foi previsto também, a drenagem da salamandra e a posterior recuperação do furo de drenagem, usando cilindros de carbono (Figura 11).



**Figuras 10.** Projeto para recuperação do revestimento refratário do cadinho do A1-1, na região do furo de corrida.<sup>(1)</sup>



**Figuras 11.** Projeto para recomposição do furo de drenagem da salamandra.<sup>(1)</sup>

## 4 PARADA PREPARATÓRIA

Foi realizada uma parada preparatória 10 dias antes da grande parada, para manutenção de equipamentos importantes, visando reduzir riscos de insucesso durante o abaixamento da carga. Foram priorizadas as revisões dos bicos *sprays* de água do topo e dos *bleeders*, dos bicos injetores de nitrogênio e vapor do topo e do sistema de lavagem dos gases, das tomadas de medição da pressão ao longo do



forno, a instalação de sondas especiais para acompanhamento do nível de carga, a instalação de novos analisadores de gás e oxigênio e manutenção no hidrômetro.

## **5 ABAIXAMENTO DA COLUNA DE CARGA**

A técnica utilizada é a de interromper o carregamento e manter sopro contínuo, reduzindo gradativamente a vazão de sopro, para controlar a temperatura e composição dos gases do topo e a descida regular da carga.

Nos dias que antecederam ao abaixamento da carga, o oxigênio de enriquecimento do ar e a injeção de carvão pulverizado foram retirados e a operação do alto-forno foi estabilizada, sem estas variáveis. Outra prática adotada na semana que antecedeu o abaixamento da carga, foi a de aumentar o teor de MgO da escória para valores entre 10% e 12% e a redução da basicidade binária para a faixa de 0,65 a 0,72, visando aumentar a fluidez, para facilitar o esgotamento e a remoção de possíveis cascões aderidos às paredes.

O abaixamento da carga foi iniciado reduzindo-se a vazão de sopro em 10% e abrindo totalmente os venturis para reduzir também a pressão no topo.

Durante o abaixamento da carga a temperatura dos gases tende a aumentar, mas foi mantida na faixa entre 250°C e 400°C, pois acima de 400°C, pode danificar os equipamentos do topo e abaixo dos 250°C pode permitir que água no estado líquido atinja o nível das ventaneiras, promovendo a formação de cascão e aumentando os riscos operacionais.

O controle da temperatura do topo foi feito inicialmente através da injeção de vapor no topo e posteriormente injeção de nitrogênio e finalmente injeção de água. A adição de água foi adotada, quando as ações anteriores se tornaram insuficientes. Foi previsto, ainda, que mesmo com a adição de água, se a temperatura dos gases tendesse ultrapassar os 400°C, cargas de calcário puro seriam feitas como recurso adicional para o abaixamento da temperatura e redução do risco de formação de mistura explosiva. A utilização de calcário é recomendada por consumir grande quantidade de calor durante a sua calcinação, sem contribuir para aumentar o teor de hidrogênio dos gases e por apresentar densidade elevada, o que reduz os riscos de fluidização.

A composição dos gases do topo se altera durante a descida de carga tornando-se rico em CO e H<sub>2</sub>. Foi necessário fazer a sua diluição através da injeção de vapor na goela e nitrogênio na região da cuba superior e média.

O gráfico da Figura 12, baseado em estudos teóricos, mostra que o teor de CO após atingir o seu limite máximo, entra em regime de queda ao mesmo tempo em que o CO<sub>2</sub> inicia a sua elevação. A composição destes dois gases caminha para a convergência, o que pode ocorrer aproximadamente 8 horas após o início do abaixamento. Antes deste momento, o fornecimento do gás para o gasômetro deve ser interrompido e o mesmo deve ser lançado para a atmosfera, pois considerando o hidrogênio em elevação e a possibilidade de alta concentração de oxigênio, o gás pode entrar no seu limite de explosividade. O acompanhamento do teor de hidrogênio é importante também para avaliar possíveis entradas de água para o interior do alto-forno durante o abaixamento.

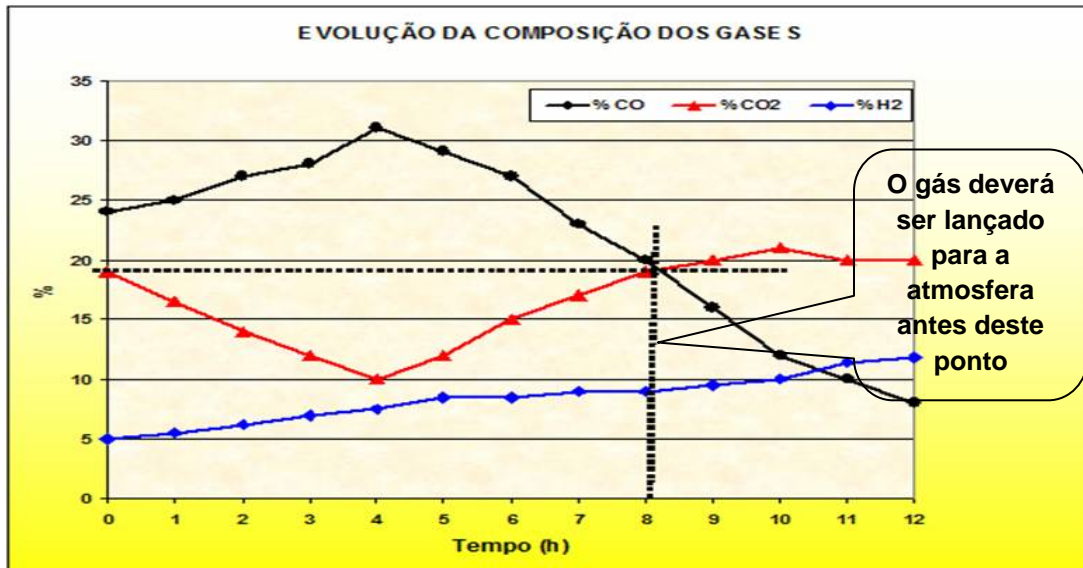


Figura 12. Evolução da composição do gás durante o abaixamento da coluna de carga. <sup>(5)</sup>

O abaixamento da coluna de carga é conduzido através de atuações na vazão de sopro, na temperatura de chama e na pressão de topo, com o objetivo de controlar a temperatura dos gases e evitar a fluidização da carga, com vistas à segurança das pessoas, dos equipamentos e a redução dos impactos ambientais.

Durante o abaixamento da coluna de carga, algumas anormalidades podem ocorrer como: obstrução ou furo em ventaneiras, fogo no topo ou nos *bleeders*, etc. Para cada caso foram previstas ações, mas por questões de segurança, nenhuma intervenção em peças que dão acesso ao interior do alto-forno foi prevista, a partir do abaixamento da metade da coluna de carga.

A operação de abaixamento da coluna de carga foi considerada concluída quando se verificou apenas carvão em fluidização na região das ventaneiras e não ocorria mais o abaixamento da sonda.

## 6 DRENAGEM DA SALAMANDRA

Drenagem ou esgotamento da salamandra é o procedimento para retirar o máximo ou todo o gusa líquido remanescente no cadinho do Alto-Forno. O sucesso desta operação depende de dois fatores principais:

- determinação correta do ângulo de inclinação e do direcionamento do furo de drenagem para atingir o fundo da área onde o gusa está acumulado; e
- menor tempo possível entre o desligamento do forno e o vazamento da salamandra. Quanto menor for este tempo, maior a possibilidade de melhor esgotamento.

A perfuração para drenagem da salamandra foi feita inicialmente com perfuratriz e broca rotativa e concluída com lança de oxigênio. Foi realizada em várias etapas intermediadas por medições de temperaturas no furo. Planejou-se, na etapa de perfuração com broca, não ultrapassar a casa dos 500°C de temperatura e profundidade não superior a 2.500 mm, por questões de segurança.

Em função do aspecto visual do furo da salamandra e considerando os riscos de arrombamento optou-se por interromper a perfuração com broca com 340°C de temperatura no furo e com profundidade de 2.250 mm.

A Tabela 1 detalha a perfuração com broca, identificando as etapas, a profundidade acumulada, as temperaturas e o tempo duração de cada etapa.

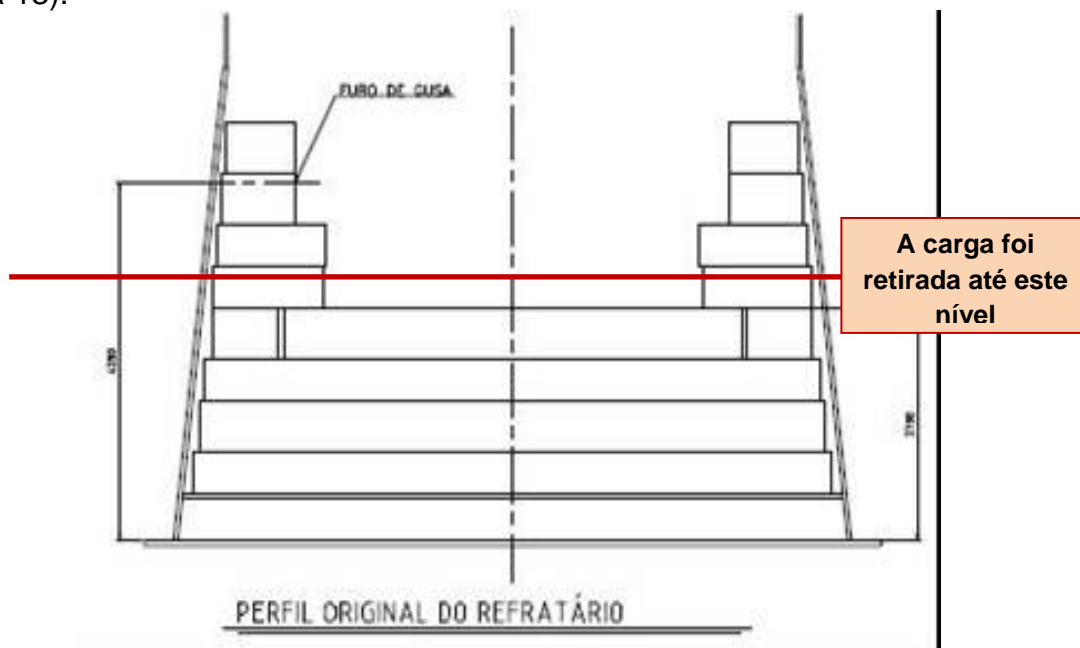
**Tabela 1.** Acompanhamento da perfuração com broca, para drenagem da salamandra

| CONTROLE DA PERFURAÇÃO COM BROCA |                 |                   |                  |             |          |             |
|----------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|----------|-------------|
| Etapa                            | Perfuração (mm) | Profundidade (mm) | Temperatura (°C) | Hora Início | Hora Fim | Duração (h) |
|                                  | 0               | 0                 | 107              |             |          | 00:00       |
| 1                                | 300             | 300               | 145              | 17:45       | 18:00    | 00:15       |
| 2                                | 400             | 700               | 175              | 18:15       | 18:25    | 00:10       |
| 3                                | 250             | 950               | 185              | 18:30       | 18:48    | 00:18       |
| 4                                | 450             | 1400              | 221              | 18:55       | 19:16    | 00:21       |
| 5                                | 200             | 1600              | 251              | 19:30       | 19:50    | 00:20       |
| 6                                | 450             | 2050              | 308              | 20:03       | 20:27    | 00:24       |
| 7                                | 200             | 2250              | 340              | 21:00       | 21:10    | 00:10       |
| TEMPO TOTAL DA FURAÇÃO COM BROCA |                 |                   |                  |             |          | 03:25       |

## 7 EXECUÇÃO DO REPARO REFRACTÁRIO DO CADINHO

Concluída a drenagem da salamandra, os conjuntos de sopro foram desmontados e a remoção da carga residual foi iniciada. Foram removidos aproximadamente 40 m<sup>3</sup> de carga inativa e nenhuma água foi lançada no interior do forno, por se tratar de uma reforma parcial.

Paralelamente à remoção de carga pelas ventaneiras, o concreto refratário da capela foi demolido e os blocos de carbono da frente da capela foram desmontados. A carga remanescente, na região do reparo, foi retirada até uma altura de 100 mm abaixo da face superior do último bloco de carbono da parede do cadinho (Figura 13).



**Figura 13.** Nível definido para remoção da carga remanescente do cadinho.<sup>(4)</sup>

Conforme planejado, foram cortados e usinados 66 blocos de carbono para a montagem do cadinho e 11 cilindros de carbono para o fechamento do furo de esgotamento da salamandra. Os blocos da última fiada e algumas outras peças adicionais para fechamento, só foram cortados e usinados após definições no campo. As peças de carbono (blocos e cilindros), cortadas, usinadas e identificadas são mostradas respectivamente nas Figuras 14 e 15.

Já a Figura 16 mostra o sistema de fixação dos blocos de carbono através de pinos de aço. Esta fixação só foi possível após inspeção visual e definição da área a ser reparada e foi realizada para evitar o desmoronamento dos blocos de carbono do contorno desta área.



**Figura 14.** Blocos de carbono cortados, usinados e pré montados. <sup>(3)</sup>



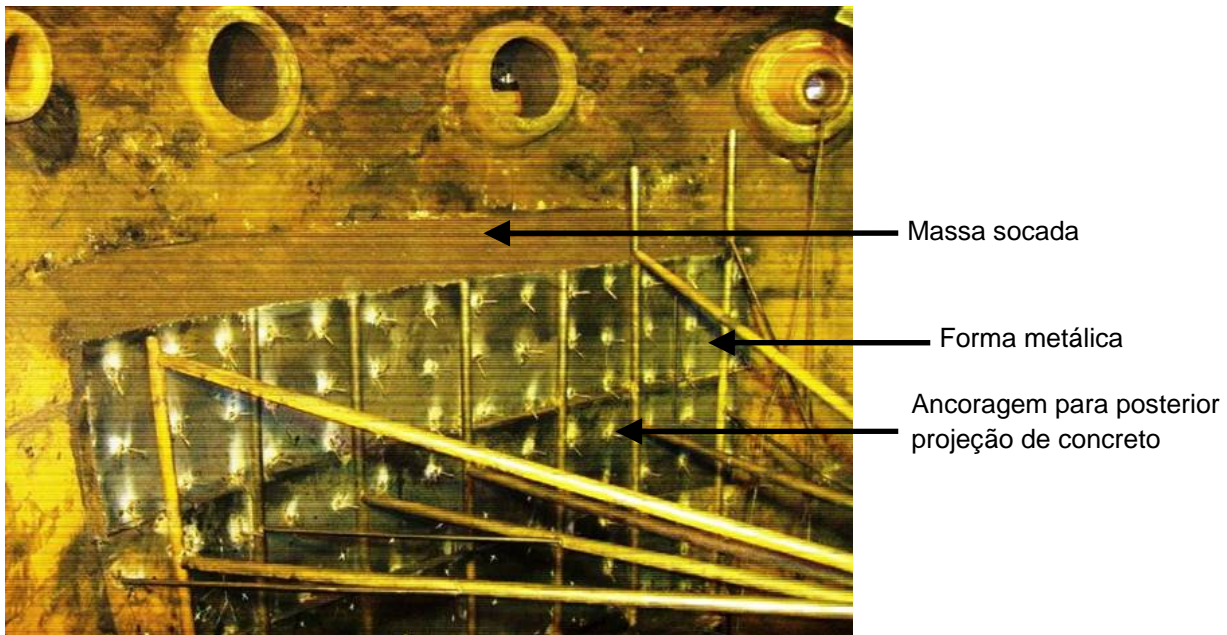
**Figura 15.** Cilindros de carbono para recomposição do furo da salamandra cortados, usinados e identificados. <sup>(3)</sup>



**Figura 16.** Travamento dos blocos de carbono com pinos de aço. <sup>(3)</sup>



Concluídos o escoramento, a recuperação da carcaça e a preparação do piso, iniciou-se a montagem dos blocos, conduzida no sentido do centro para as extremidades e respeitando-se a tolerância máxima de 0,3 mm nas juntas entre eles. Como os blocos de carbono, montados nesta região, foram de dimensões menores que os blocos originais de projeto e considerando a mudança estratégica do reparo (foi feito pelo lado de dentro), tornou-se possível e importante garantir o comprimento do furo de corrida original, o que foi feito através de massa de socar a base de carbono e carbeto de silício, sem adição de água e aplicada com forma metálica (Figura 17). A parede constituída pela massa socada teve o objetivo não só de aumentar o comprimento do furo de corrida, mas também de proteger os blocos de carbono no início de operação.

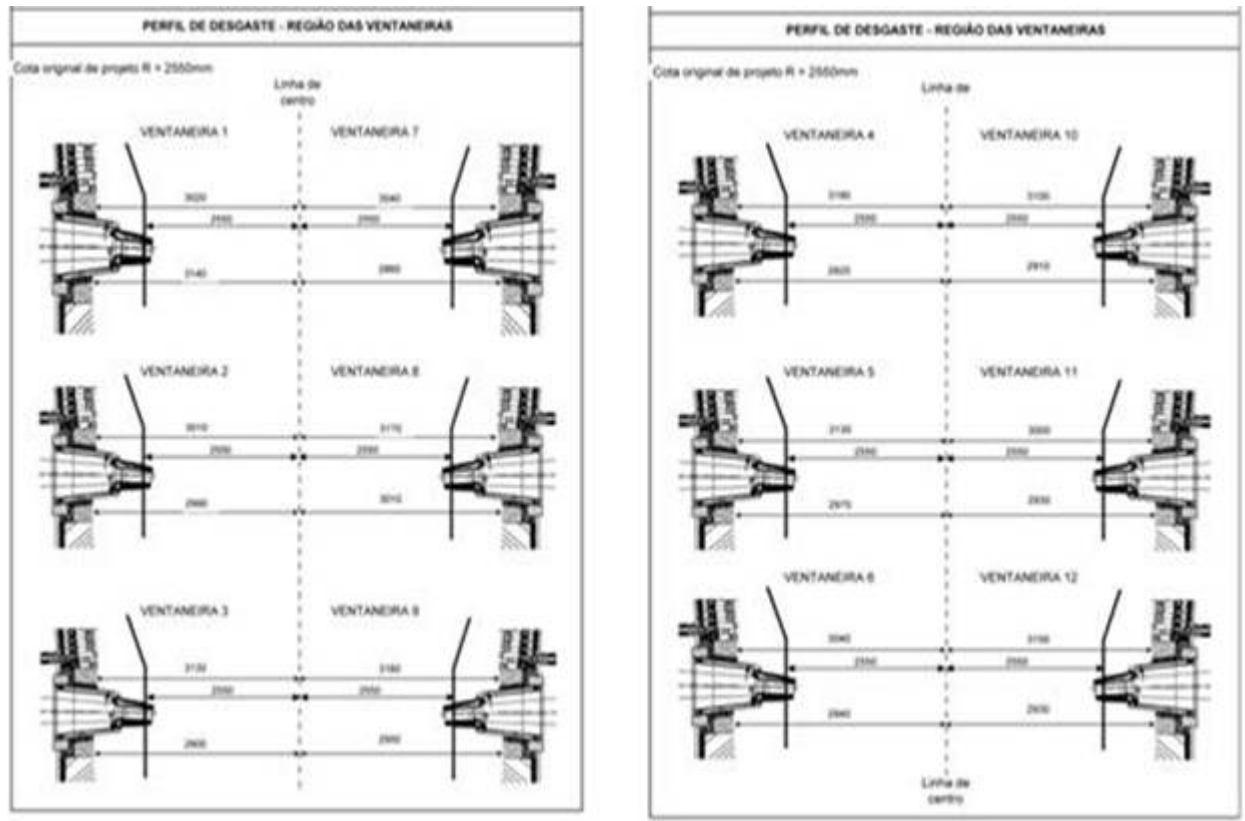


**Figura 17.** Massa refratária socada para aumentar o comprimento do furo de corrida e proteger os blocos de carbono no início de marcha.<sup>(3)</sup>

## 8 OUTROS SERVIÇOS

### 8.1 Reparo no Contorno das Ventaneiras

Em função do desgaste verificado na região das ventaneiras, conforme levantamento de medidas apresentado na Figura 18 foi realizado a recomposição daquela área com concreto refratário de alta alumina, pelo processo de *shotcrete*.



**Figura 18.** Determinação do perfil de desgaste na região das ventaneiras.<sup>(6)</sup>

## 8.2 Projeção de Concreto na Face Quente dos Staves

Com o objetivo de proteger os *staves* contra a projeção de materiais sólidos durante o carregamento do forno, uma camada de concreto sílico-aluminoso de 100 mm de espessura foi aplicada sobre ele, formando a camada de sacrifício.

## 8.3 Projeção de Concreto na Cuba

Pela Figura 19 é possível verificar que o revestimento refratário da cuba não sofreu desgaste acentuado, exceto no contorno das placas de refrigeração, onde houve perda da massa socada por ocasião da reforma. Com objetivo de maior proteção durante o carregamento do forno, foi aplicado concreto refratário sílico-aluminoso pelo processo convencional, em toda a extensão da cuba média e superior.



**Figura 19.** Aplicação de *gunning* na cuba.<sup>(3)</sup>

## **9 RELIGADA**

A religada do alto-forno foi antecipada para atender ao plano de produção e ocorreu no dia 20/05/2009, às 02h20min, totalizando 1.054 horas de reforma em 44 dias.

## **10 CONCLUSÕES**

O reparo permitiu dar continuidade à campanha atual do revestimento do alto-forno 1 e a opção de se fazer o reparo internamente foi acertada, pois permitiu melhor qualidade na montagem dos blocos e também avaliar as condições do restante do cadinho e dar maior segurança para aumentar a sua campanha, adiando a reforma geral para o ano de 2014, conforme planejamento atual.

Com base em tudo que foi observado com relação ao estado geral do revestimento, somado à monitoração dos termopares adicionais instalados e à manutenção do comprimento do furo de corrida, que é uma realidade nos dias atuais, é possível garantir o prolongamento da campanha até a data desejada, desde que não ocorram eventos fora da rotina, que possam comprometer a estabilidade operacional e dos equipamentos da casa de corrida.

## **Agradecimentos**

A todos aqueles que nos incentivaram e que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, os nossos mais sinceros agradecimentos.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 V&M do BRASIL - Projeto HO3557 para reparação do furo de corrida e cadinho do AF-I – Belo Horizonte - 2008
- 2 V&M do BRASIL - Tela do Sistema Supervisório do AF-I – Belo Horizonte - 2001
- 3 V&M do BRASIL - Acervo de fotos da grande parada do AF-I – Belo Horizonte – 2009
- 4 V&M do BRASIL - Projeto de reforma do AF-I – Belo Horizonte - 2000
- 5 V&M do BRASIL - Plano de abaixamento de carga do AF-II – Belo Horizonte - 2000
- 6 V&M do BRASIL - Relatório do reparo do cadinho do AF-I – Belo Horizonte - 2009