

## REPARO DO ALTO-FORNO 1 DA USIMINAS IPATINGA\*

Fernando Caracoche<sup>1</sup>  
Heltom Muzzi Martins<sup>2</sup>  
Walter Gomes de Albuquerque<sup>3</sup>  
Gabriel Viana Cardoso<sup>4</sup>  
Larissa Rodrigues de Carvalho Rocha<sup>5</sup>

### Resumo

O Alto-Forno 1 (AF1) da Usiminas teve seu primeiro acendimento (*blow-in*) em 1962 e sua última reforma (*relining*) em 1997. Devido à queda da demanda por aço, o AF1 interrompeu suas atividades duas vezes, uma em 2008 (*blow-in* em 2010) e a última em 01/06/2015 (*blow-in* em 03/04/2018). O último reparo restabeleceu a produção diária de 2.000 t, a segurança operacional e a confiabilidade do equipamento até a próxima reforma. Durante a execução desse reparo, ocorreu a necessidade de substituição de um anel completo da carcaça na região da rampa e a recuperação de todos os refratários da rampa e ventre. Também foi necessária a demolição e recuperação de cerca de 400 t de refratários nos três regeneradores e modificações na sua estrutura de sustentação. Apesar de todos os desafios enfrentados durante a execução do reparo do AF1, o projeto foi concluído com sucesso, dentro do orçamento e do prazo, por uma equipe própria de Engenharia. Atualmente o AF1 opera com a produção diária prevista e com o perfil refratário, o sistema de refrigeração, a carcaça e os regeneradores completamente restaurados.

**Palavras-chave:** Alto-Forno; Reparo; Usiminas.

### REPAIR OF USIMINAS IPATINGA BLAST FURNACE#1

#### Abstract

Usiminas Blast Furnace#1 (BF#1) had its first blow-in in 1962 and its last relining was held in 1997. This blast furnace has to interrupt its operation twice, one in 2008 (blow-in in 2010) and the last blow-out was in 2015 (blow-in in 2018). The purpose of this last repair was to reestablish the 2,000 tons' daily production, operational safety and reliability of the blast furnace until the next relining. During this repair execution it was necessary to replace one complete ring of the shell at bosh region and recover all refractory. It was also necessary to demolish and replace 400 tons of refractories in the hot stoves and add new columns beneath check chamber. Despite all the challenges, the project was successfully completed within the initial budget and deadline, with an own Engineering team. Currently, BF#1 operates at expected daily production and with the refractory profile, cooling system, shell and hot stoves completely restored.

**Keywords:** Blast Furnace; Repair; Usiminas.

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Gerente Geral de Engenharia, Diretoria de Engenharia de Equipamentos e Instalações, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, Gerente Geral de Redução, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Especialista de Projetos Pleno, Diretoria de Engenharia de Equipamentos e Instalações, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, Líder de Projetos, Diretoria de Engenharia de Equipamentos e Instalações, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheira Metalurgista, Pesquisadora, Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento de Processos, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A Usiminas possui três altos-fornos em sua Planta Industrial de Ipatinga. O Alto-Forno 1 (AF1) teve seu primeiro acendimento (*blow-in*) em 1962 e sua última reforma (*relining*) em 1997. Devido à queda da demanda por aço, motivada pela retração da economia brasileira, o AF1 interrompeu suas atividades duas vezes, uma em 2008 (*blow-in* em 2010) e a última em 01/06/2015 (*blow-in* em 03/04/2018). Com a perspectiva de melhora econômica, no final do ano de 2016, foram iniciados os estudos de reparo do AF1 visando disponibilizar seu retorno operacional. O reparo restabeleceu a produção diária de 2.000 toneladas, a segurança operacional e a confiabilidade do equipamento até a próxima reforma.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Na definição do escopo de reparo do AF1, visando manter a competitividade, foram contempladas apenas as atividades imprescindíveis para o retorno operacional do alto-forno. Em 2017 o projeto foi iniciado, com previsão de duração de 10 meses, conforme cronograma apresentado na Figura 1.

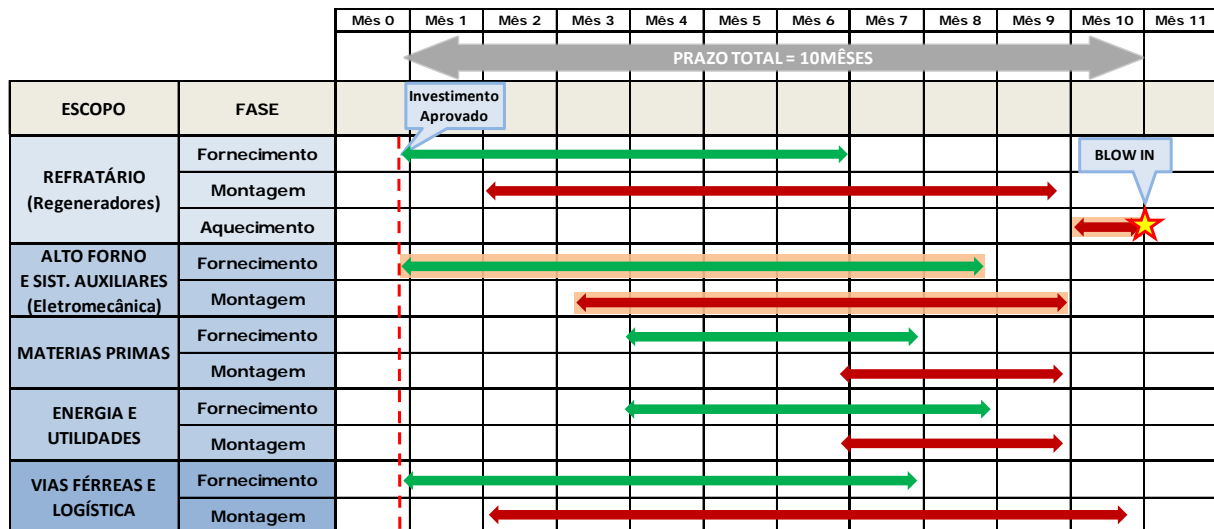


Figura 1. Cronograma do projeto de reparo do AF1.

### 2.1 Escopo Previsto

O escopo do reparo envolveu basicamente duas áreas, o próprio AF1 e os seus regeneradores.

#### 2.1.1 Reparo no AF1

No escopo do reparo, foram executados, conforme previsto: (i) reparo no sistema de refrigeração, com a substituição de 34 placas e algumas tubulações furadas; (ii) fechamento do janelão da carcaça e recuperação com solda de, aproximadamente, 5 metros de trincas na carcaça; (iii) recuperação do sistema de acionamento dos *skipcars*; (iv) substituição dos cabos de aço e roldanas do topo; (v) reparo dos *bleeders*; (vi) montagem dos canhões e perfuratrizes nas áreas de corrida; (vii) manutenção preventiva no sistema de lubrificação, bombas, redutores, pontes rolantes.

Além disso, foram realizadas a remoção parcial da salamandra, a limpeza do revestimento refratário, *shotcrete* nas paredes do forno, socagem de massa carbonosa de antracito no cadinho, recuperação dos furos de gusa e dos canais de corrida (Figura 2).

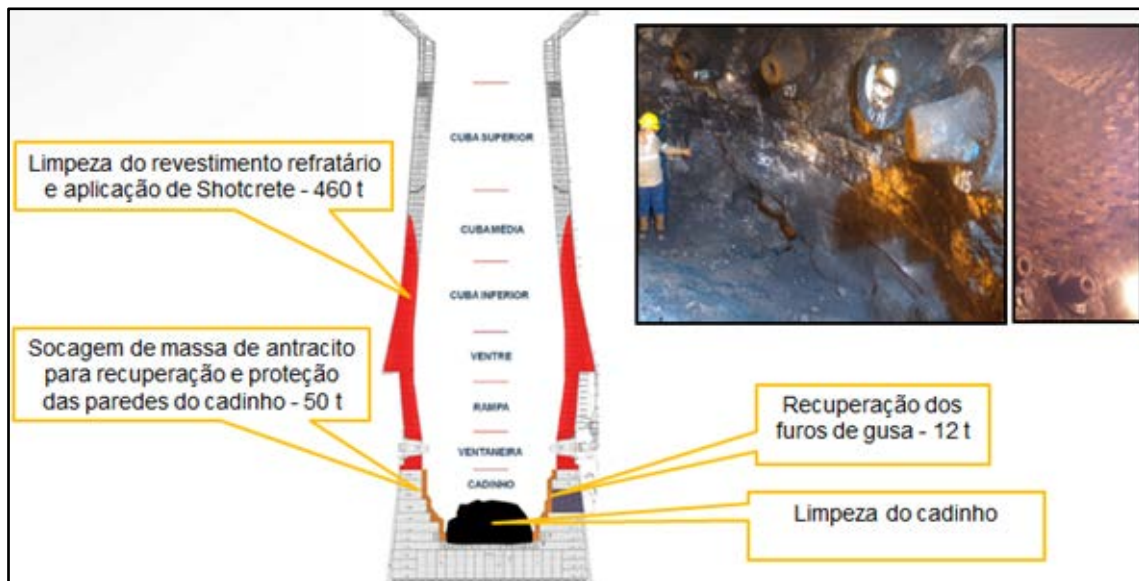


Figura 2. Escopo do reparo refratário previsto no AF1.

### 2.1.2 Reparo nos regeneradores

O AF1 possui 3 regeneradores (HS1, HS2 e HS3). Foram executadas a substituição completa dos tijolos refratários do domo do HS3, recuperação de 20% dos tijolos do domo do HS1, desobstrução do empilhamento dos *checkers* de todos os regeneradores pela desmontagem e montagem de, aproximadamente, 73 fiadas de *checkers* e reparos parciais nas câmaras de combustão. Na Figura 3 são apresentados os regeneradores e a situação dos *checkers* obstruídos.

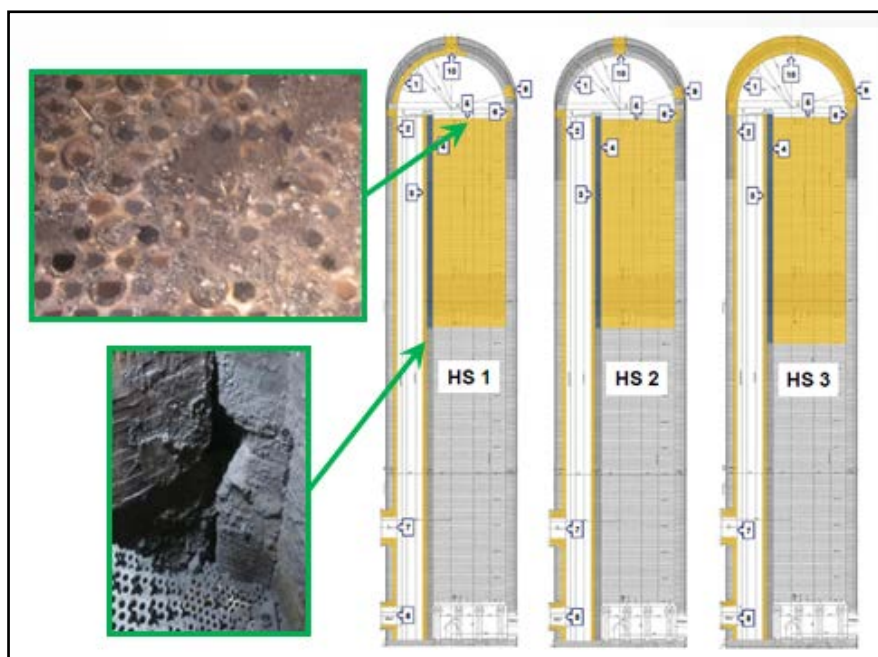


Figura 3. Situação dos *checkers* dos regeneradores do AF1.

Na linha de ar quente foram executados o reparo nos entroncamentos (T's), calafetação das juntas de expansão, recomposição dos tijolos em duas juntas novas e limpeza da parte inferior do duto da linha de ar quente.

## 2.2 Desafios Durante a Execução do Reparo

### 2.2.1 Reparo das trincas na carcaça

OAF1 apresenta característica de projeto não autoportante, ou seja, precisa de colunas de sustentação entre a região da rampa e ventre, chamada de maratra. A configuração original do sistema de refrigeração, com as placas de cobre, e da parte refratária foi mantida. No entanto, durante a última reforma em 1997, parte da maratra e da rampa foram substituídas em todo o perímetro do forno, como é apresentado na Figura 4. Nota-se que, durante essa reforma, foi instalado um anel de suporte (*brick ring*) na maratra, de modo a sustentar os tijolos refratários do ventre e da cuba.

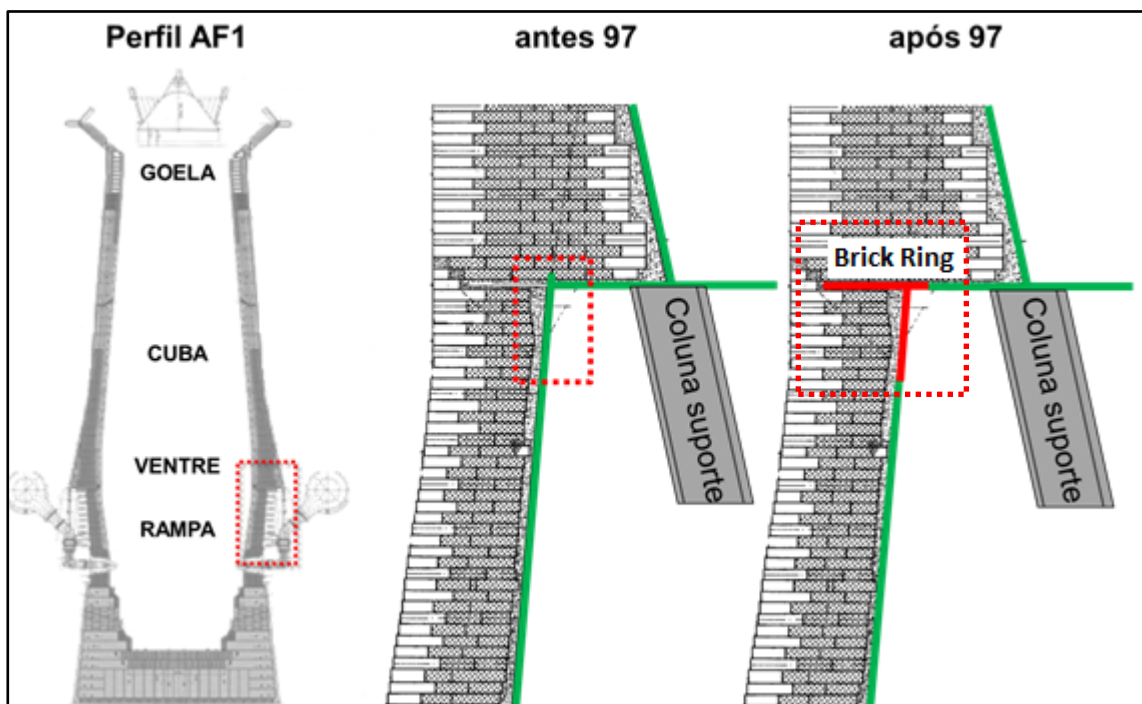


Figura 4. Modificação realizada na reforma de 1997 no AF1.

O escopo contemplava o reparo de 5 metros de trincas acumuladas na carcaça na região da maratra. Porém, ao demolir todo o refratário interno da rampa do alto-forno para iniciar o reparo dessas trincas, foi encontrada uma quantidade de trincas acumulada superior a 30 metros.

Foi concluído que o *brick ring* funcionou como uma ponte térmica para que o calor interno do alto-forno fosse transferido para toda a maratra, resultando em uma quantidade de trincas muito superior à prevista. Na Figura 5 é apresentado o mapa de trincas encontradas na região da maratra.

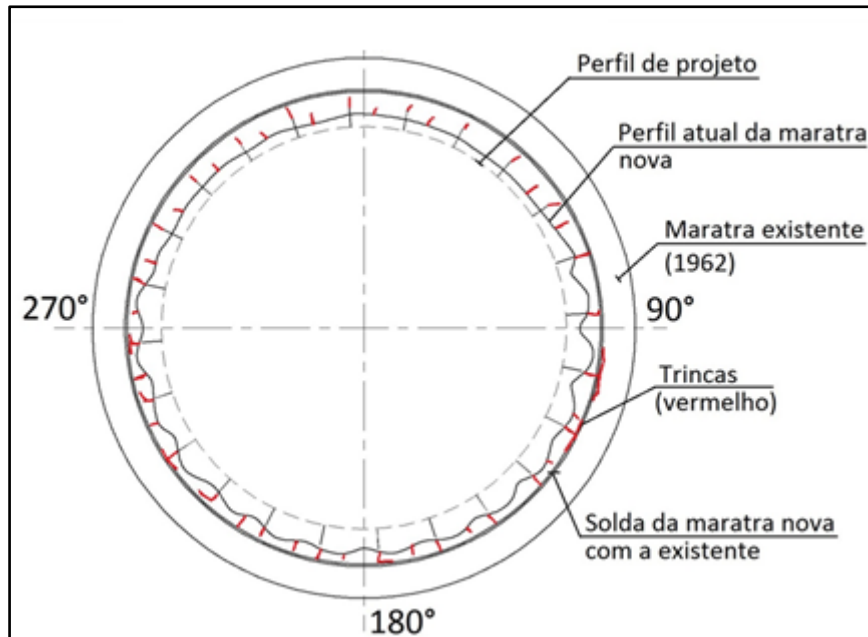


Figura 5. Mapa de trincas encontradas na região da maratra.

Nota-se que todas as trincas estavam na região que foi substituída na reforma de 1997. No entanto, foram realizadas no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, análises metalográficas e ensaios tipo *charpy* em amostras retiradas de regiões da maratra que não foram substituídas em 1997, principalmente acima dos furos de gusa. Os resultados mostraram que a carcaça não preservava suas propriedades originais, indicando a necessidade da troca de todo o anel na região da maratra conforme Figura 6.

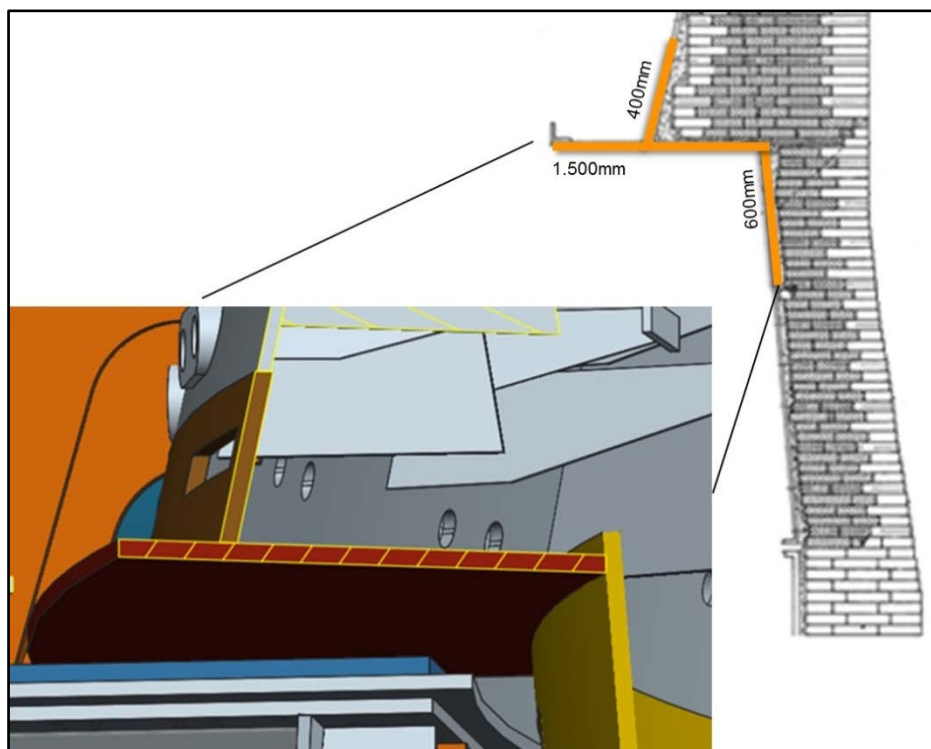


Figura 6. Região da carcaça a ser substituída.

Adicionalmente, foi definida a substituição de todos os tijolos refratários da região da rampa por tijolos de carbetos de silício ligado à SiAlON (Projeto *Paul Wurth*), de acordo com a Figura 7. Este refratário possui maiores resistência mecânica e condutividade térmica, possibilitando uma maior durabilidade do refratário no alto-forno.

Como não foi identificado desgaste excessivo nos refratários das regiões acima da maratra, foi realizado apenas o *shotcrete*.

Assim, foi necessário montar a rampa e na maratra 154 toneladas de tijolos refratários novos que não estavam previstos no escopo original. O reparo se iniciou com a demolição de todo o refratário e remoção das placas de refrigeração nesta região, de modo a possibilitar o livre acesso.

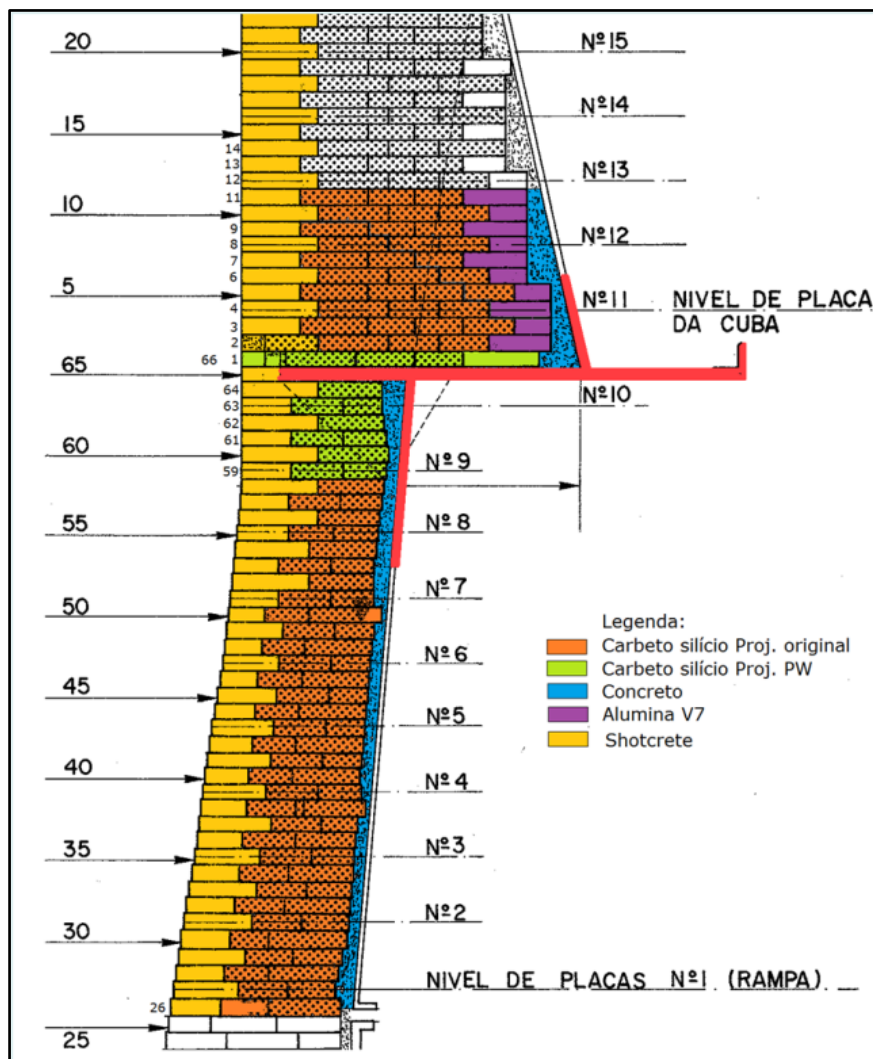


Figura 7. Tijolos refratários substituídos.

Em paralelo foi realizada, também, a sustentação provisória da carcaça, uma vez que o seu ponto de apoio teria que ser substituído. Para esta sustentação foram utilizadas as próprias colunas existentes e foram instalados suportes alongados soldados na carcaça da região da cuba, onde não seriam realizadas intervenções. Na Figura 8 observam-se os suportes alongados que fixaram a cuba superior (esquerda) e o tirante de sustentação da rampa remanescente (direita).

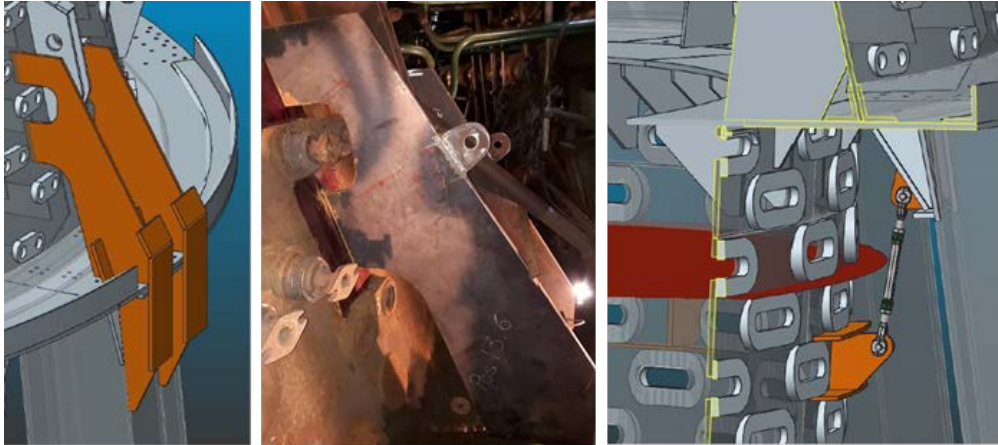


Figura 8. Estrutura provisória de sustentação da carcaça.

A substituição parcial da carcaça ocorreu em duas etapas: (i) região da rampa e (ii) região da maratra e cuba, atividade de maior complexidade. Para esta última, o perfil do forno foi dividido em 8 frações intercaladas (Figuras 9 e 10), sendo, inicialmente, substituídas quatro frações em paralelo e as demais na sequência.

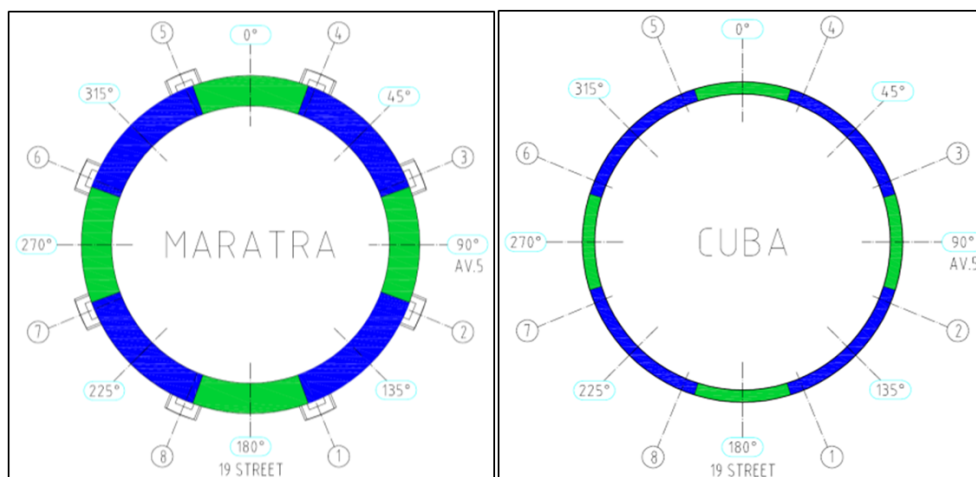


Figura 9. Divisão do perfil do forno em frações.

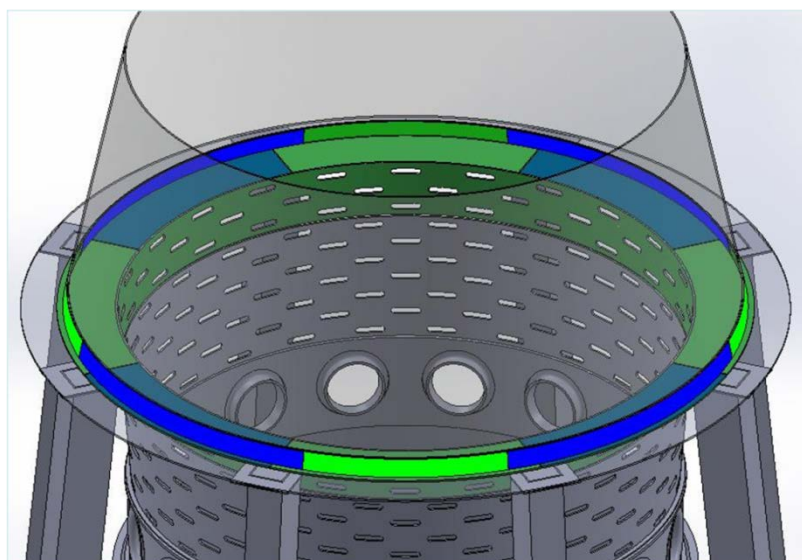


Figura 10. Divisão do perfil do forno em frações - Vista 3D.

Após o término da substituição das chapas, o material refratário foi recomposto juntamente com as placas de refrigeração.

Essas foram as atividades mais desafiadoras do projeto, por demandarem avaliação e execução rigorosas e não estarem previstas no escopo do reparo.

## 2.2.2 Refratários dos regeneradores

Existe uma grande dificuldade em identificar os danos nos refratários de um regenerador, pois não existe um método efetivo para definir com exatidão a extensão da obstrução nos tijolos *checkers*, além da dificuldade de acesso para inspeção das paredes internas nos regeneradores. Assim, a definição da dimensão das obstruções nos tijolos foi baseada em experiências de reparos anteriores.

Entretanto, após a demolição dos tijolos até a fiada prevista no projeto, foi realizada uma inspeção visual e encontrada uma situação crítica nos *checkers*. Além de grande parte dos tijolos apresentarem um elevado grau de obstrução, foi identificado um desnivelamento dos tijolos com diferença de até 130 mm, o que implicou na continuidade da demolição até que fosse encontrada uma fiada com baixo nível de obstrução e nivelamento adequado. Também foi necessária a troca dos refratários do domo do HS1 conforme apresentado na Figura 11.

Foi encontrado um “curto circuito” na parede divisória entre a câmara de combustão e o empilhamento de tijolos, situação em que o ar encontra passagem inadequada durante o processo (Figura 12). Cada regenerador apresentou 16 metros de trinca de curto circuito, sendo necessário demolir 86 fiadas de tijolos da parede da câmara de combustão para liberar o acesso e substituir 220 fiadas de tijolos da parede divisória.

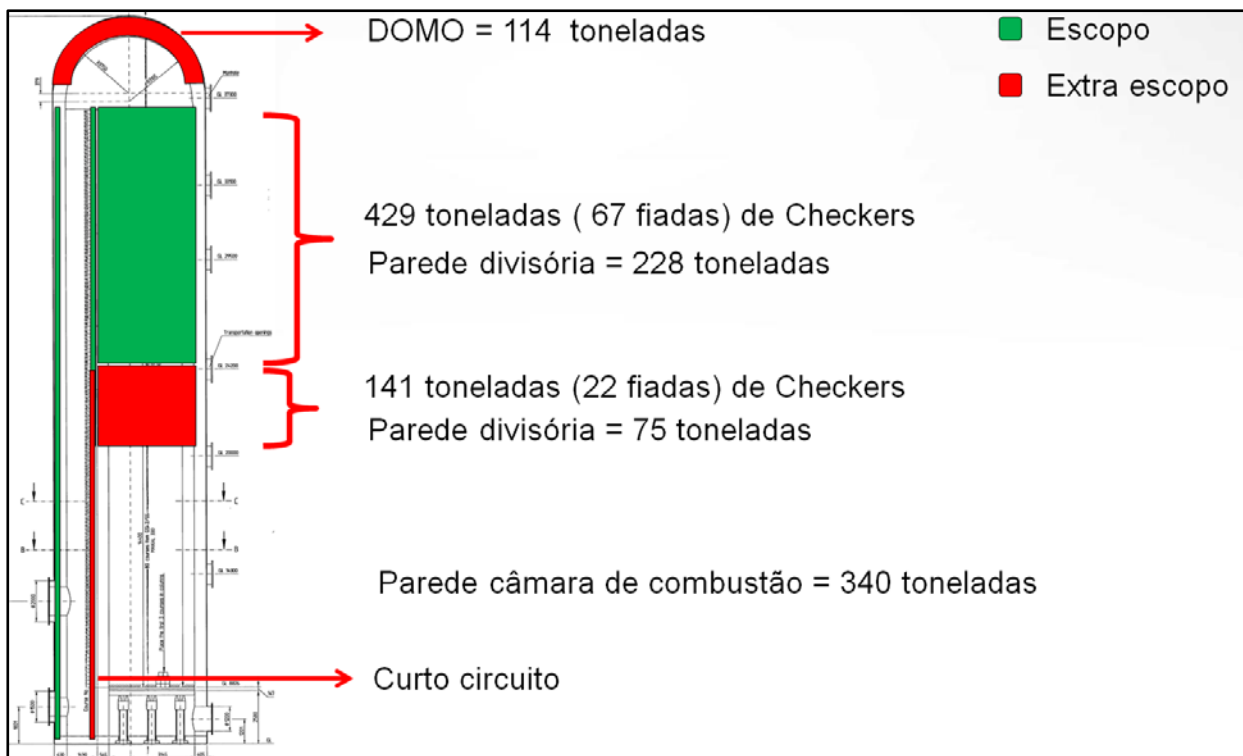


Figura 11. Extensão dos reparos no HS1.





**Figura 12.** “Curto circuito” na parede divisória entre a câmara de combustão e o empilhamento de tijolos.

Como plano de ação foi necessário viabilizar o fornecimento de material para as atividades extra escopo (Tabela 1) e, em paralelo, o incremento da mão de obra para realizar os serviços de reparo refratário (replanejamento da obra considerando aumento no efetivo, serviços em 3 turnos, inclusive feriados e horas-extras). Com essas ações, foi possível absorver o aumento do escopo sem impactar no prazo final do projeto.

**Tabela 1.** Comparação entre consumo de refratário previsto e o realizado

Quantidade de Refratário para o reparo do AF1 (t)			
Região	Escopo	Extra Escopo	Total
HS1	905	206	1.111
HS2	803	130	933
HS3	951	223	1.174
Linha ar quente	17	10	27
Total	2.676	569	3.245

### 2.2.3 Trincas nas grelhas de sustentação do empilhamento de tijolos

O empilhamento de tijolos refratários em cada regenerador pesa, aproximadamente, 1.000 toneladas. Todo esse peso é sustentado por um conjunto de colunas, vigas e grelhas no piso do regenerador. Durante o ciclo de vida do regenerador, esse sistema de sustentação é submetido a um ciclo térmico, com temperaturas variando entre 80°C e 300°C, o que torna o ferro fundido o material mais adequado para esse tipo de solicitação.

No caso dos regeneradores do AF1, devido ao curto circuito e à obstrução no empilhamento de tijolos, o gás quente gerado pela combustão dentro dos regeneradores encontrava passagem pelas trincas da parede e chegava até as grelhas de sustentação em temperaturas acima do limite de projeto. Essa condição operacional fragilizou a estrutura de ferro fundido fazendo com que surgissem

trincas nas grelhas(Figura 13) e danos nos pontos de apoio dessas grelhas sobre as vigas.

Após a identificação das trincas, a solução proposta foi colocar mais colunas e vigas abaixo das grelhas, visando reduzir o vão livre e aumentar os pontos de apoio. Dessa forma, foram instalados em cada regenerador 6 colunas e 3 vigas de ferro fundido extras, como indicado em vermelho na Figura 14.



Figura 13.Trincas nas grelhas de sustentação.

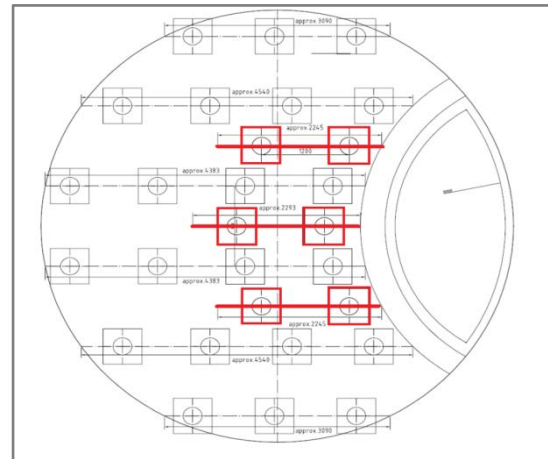


Figura 14.Novas colunas e vigas.

Os grandes desafios foram comprar, fabricar, transportar e montar as vigas e as colunas dentro dos 3 regeneradores antes do início do aquecimento. Isso só foi possível pelo trabalho em conjunto da Engenharia, Suprimentos e Usiminas Mecânica.

### 3 CONCLUSÃO

Foi realizada uma análise criteriosa para o planejamento do escopo do projeto de reparo do AF1. Entretanto, em projetos *brownfield*, como foi o caso deste alto-forno, é extremamente difícil prever com exatidão todas as atividades necessárias durante a obra para a recuperação do equipamento.

No caso do AF1 da Usiminas, apesar de todos os desafios enfrentados durante a execução do reparo, o projeto foi concluído com sucesso dentro do orçamento e do prazo, com uma equipe própria de Engenharia. Atualmente foi restabelecida a produção diária de 2.000 t de gusa, com o perfil refratário, o sistema de refrigeração, a carcaça e os regeneradores completamente restaurados.