

## FILOSOFIA DE PRESERVAÇÃO DAS CAPELAS DOS FUROS DE GUSA DO ALTO-FORNO 1\*

*Alfredo Carlos Bitarães Quintas<sup>1</sup>*

*Ernane Santana da Cruz<sup>2</sup>*

*Leandro de Assis Dutra<sup>3</sup>*

*Maurício Bittencourt Marques<sup>4</sup>*

*Rafael Eduardo Gomes Ribeiro<sup>5</sup>*

*Edson Alexandre Carneiro de Oliveira<sup>6</sup>*

*Bárbara Júlia de Souza Mota<sup>7</sup>*

*Márcio Guedes da Cunha<sup>8</sup>*

### Resumo

A drenagem da produção de um alto-forno ocorre através dos seus furos de gusa. As capelas dos furos de gusa são as únicas regiões que não possuem selagem na comunicação do reator com o ambiente, sendo assim precisam de um concreto refratário de alta qualidade. Em busca de maior segurança operacional na área de corrida do Alto-Forno 1 da Gerdau Ouro Branco colocamos foco no desenvolvimento de uma filosofia de preservação das capelas dos furos por onde se escoam mais de 7 mil toneladas por dia de gusa. Esse processo de manutenção das capelas dos furos de gusa é longo e contínuo. Desta forma neste trabalho temos a descrição de uma metodologia desenvolvida em conjunto com fornecedores de massa de tamponamento, serviços e a equipe técnica dos Altos-Fornos da Gerdau, com foco em reparos paliativos em intervalos de campanhas operacionais dos canais e reparos completos, os quais são realizados em paradas programadas para recuperar a condição dos refratários de toda a extensão da capela e reduzir os vazamentos de gás por essa região. A filosofia de reparo e a sistemática das capelas permitiram a preservação do refratário dessa região contribuindo para redução da ocorrência de vazamentos de gás, trincas e principalmente o afundamento crônico da região do furo. Observou-se ganhos na qualidade das obturações dos furos de gusa, refletindo na elevação de 8% na média do acerto do comprimento do furo de gusa.

**Palavras-chave:** alto-forno; capela; furo de gusa; refratários.

### PHILOSOPHY FOR THE PRESERVATION OF THE CHAPELS OF THE TAP HOLES IN BLASTS FURNACE

#### Abstract

The flowing process of a blast furnace occurs through its tap holes. The tap hole hoods are the only area that do not have sealing in the reactor's communication with the environment, being made with refractory concrete. In pursuit of greater operational safety in the Blast Furnace, we focused on developing a philosophy of preserving the chapels in the holes through which more than 7,000 tons of hot metal flow per day. This maintenance process for the tap hole hoods is long and continuous. In this work we have the description of a methodology developed together with suppliers of refractory materials, services and the the Gerdau's Blast Furnaces technical team, with a focus on palliative repairs in intervals of operational campaigns of the runners and complete repairs, which they are carried out in scheduled shutdowns to recover the condition of the refractories along the entire length of the chapel and reduce gas leaks in this region. The repair philosophy and the systematics allowed the preservation of the refractory in this area, contributing to the reduction of gas leaks, cracks and mainly the chronic sinking of the hole region.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Redução de Minérios e Matérias-Primas, parte integrante da ABM Week 7ª edição, realizada de 01 a 03 de agosto de 2023, São Paulo, SP, Brasil.

Gains were obtained with the improvement in the quality of fillings in the tap holes, reflecting an increasing of 8% on average accuracy of tap hole's length. ]

**Keywords:** [Blast furnace; chapel; tap holes; refractories.]

- <sup>1</sup> [Engenheiro Metalurgista, especialista, esgotamento, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil.
- <sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, especialista, área de corrida, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil.
- <sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, especialista, preservação, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil.
- <sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, gerente, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil.
- <sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista, especialista, CAPEX, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil.
- <sup>6</sup> Engenheiro Metalurgista, especialista, CAPEX, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil.
- <sup>7</sup> Engenheiro Metalurgista, especialista, CAPEX, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil.
- <sup>8</sup> Engenheiro Metalurgista, operador especializado, área de corrida, Alto-Forno 1, Gerdau, Ouro Branco, Minas Gerais; Brazil ]

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve uma evolução muito grande na vida útil e aumento da produtividade nos altos fornos refletindo diretamente nas operações de área de corrida, no sentido de atender a vazamentos de maiores quantidades de gusa e preservar a região da capela e cadinho dos altos fornos.

Muitas melhorias partiram do Japão nas décadas de 60 e 70, mas vários equipamentos foram aperfeiçoados de acordo com o cenário de cada alto forno. Máquinas de perfuração, ferramentas de corte e de obturação assim como as massas de tamponamento vem sendo continuamente melhorados para que a performance e a segurança do processo de drenagem sejam cada vez melhores.

Seguindo toda essa evolução a Gerdau tem investido em estudos e práticas operacionais de área de corrida com foco em maior estabilidade operacional e segurança dos colaboradores.

Os altos fornos são equipamentos de produção contínua e a interrupção de produção dos mesmos podem gerar grandes perdas financeiras para a empresa. A Gerdau Usina Ouro Branco, maior unidade produtiva da empresa possui 2 altos-fornos, sendo o Alto-forno 1 responsável por cerca de 60% da produção e o Alto-forno 2 por cerca de 40% da produção diária.

O Alto-forno 1 alvo deste estudo iniciou a operação em 1986 e possui uma capacidade de utilização atual de 7200 toneladas de gusa por dia. Esse forno possui um volume interno de 3051 m<sup>3</sup> e diâmetro do cadinho de 11,5 metros. São 28 ventaneiras, 4 furos de gusa e opera com sistema de refrigeração do tipo stove cooler. A última reforma do ativo ocorreu em 2019 e teve como foco a substituição parcial dos refratários do cadinho. Conforme observa-se na figura 1, foram substituídos os antigos blocos de carbono por blocos menores, de maior capacidade de resistência aos desgastes físicos químicos e melhor troca térmica.

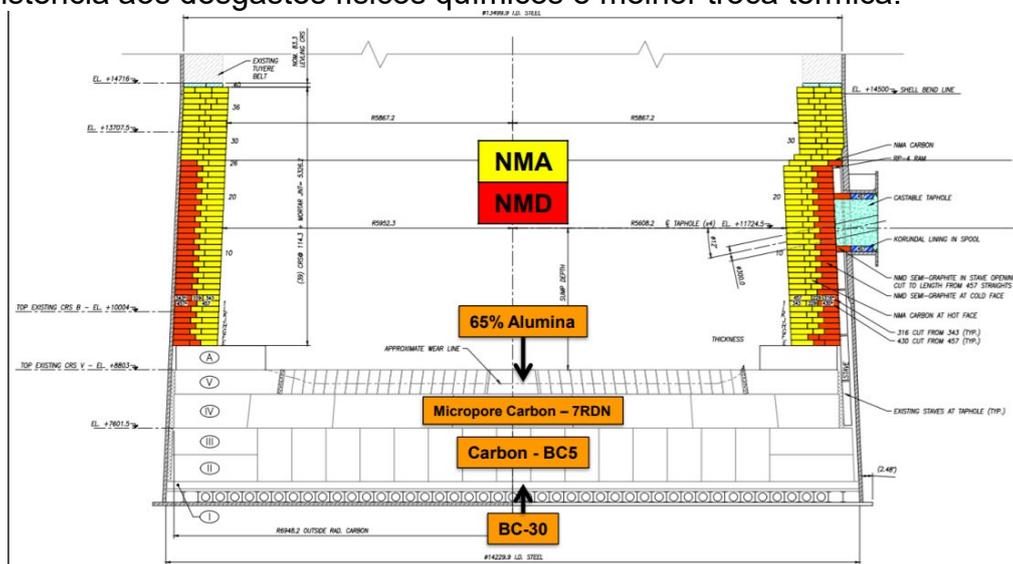


Figura 1: Refratários do cadinho do Alto-Forno 1 após a reforma 2019.

Após a reforma um dos principais desafios operacionais da área de corrida foi a preservação das capelas dos furos de gusa. Foi percebido que os tijolos refratários instalados apresentavam maior passagem de gás pelas junções. A região dos furos de gusa por sua vez são as mais afetadas pois conforme descrito por Scudeller 1997, essa é a região com maior movimentação refratária devido aos esforços mecânicos advindos dos canhões de massa e perfuratrizes.

Após a reforma, observou-se que as campanhas operacionais dos furos de gusa até os intervalos de reparos refratários dos canais apresentavam um afundamento de cerca de 300 milímetros de profundidade no anel do furo de gusa, gerando riscos de falha na vedação do canhão e perda da qualidade da obturação do furo de gusa. Veja na figura 2 uma ilustração do furo de gusa.

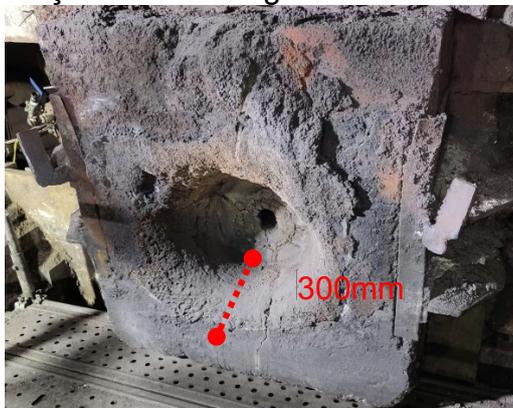


Figura 2: Concreto da região da capela do furo de gusa.

Em 2021 observou-se o aumento da frequência de paradas não programadas no alto forno 1 para reparo das capelas. Acredita-se que a fragilização do concreto é provocada pelos vazamentos de gás por meio de trincas. A Figura 3 mostra o vazamento de gás e condições do refratário dos furos de gusa.



Figura 3: Furo de gusa com elevada presença de vazamentos de gás e trincas na região da capela

Um dos principais fenômenos causadores de trincas na região da capela são as dilatações e contrações das estruturas metálicas da região devido a dissipação de energia durante a vedação do canhão no anel do furo de gusa. A energia dissipada pelo canhão é diretamente relacionada à velocidade do giro do canhão. A energia Cinética do canhão (EC) é calculada como sendo:

$EC = \frac{mc * (V)^2}{2}$ , onde “mc” corresponde à massa do canhão e “V” é a velocidade de giro do canhão.

A comparação feita abaixo é de um canhão com 8 segundos e do canhão com 15 segundos de tempo de giro até o anel do furo de gusa.

$$EC1: \frac{mc * (Ds/8)^2}{2} <> EC2: \frac{mc * (Ds/15)^2}{2}$$

As massas “mc” e a distâncias “Ds” são iguais, pois estamos comparando o mesmo canhão e a mesma distância percorrida pelo canhão até atingir o anel do furo de gusa.

O tempo de giro é a única variável. Portanto observa-se que EC1 é quase quatro vezes maior do que EC2.

Os canhões atuais estavam operando com 8 segundos de tempo de giro sendo que o projeto é definido para até 15 segundos.

À medida que as capelas vão aprofundando e as trincas aumentando, a qualidade da vedação do furo com o bico do canhão também reduz. Com isso, as falhas de vedação e chances de arrombamento do furo crescem. No gráfico da Figura 4, evidenciamos ocorrências de falhas de vedação e arrombamentos entre os meses de agosto de 2021 a dezembro de 2021.

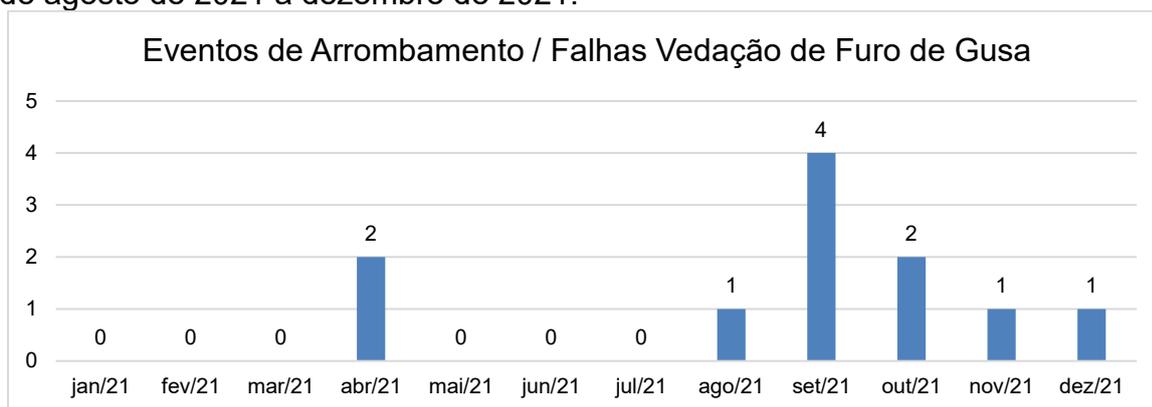


Figura 4: Eventos de falha de vedação/arrombamento de furo de gusa

Outro problema para a estabilidade do processo de área de corrida e preservação do cadinho na região dos furos de gusa são os eventos de retorno de massa. No gráfico 5 observamos a frequência de eventos ocorridos no ano de 2021.

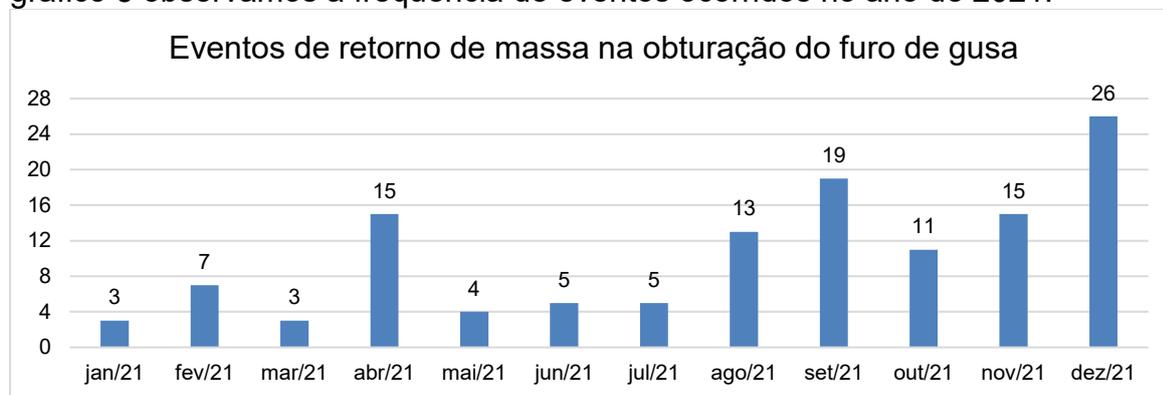


Figura 5: Número de corridas com retorno de massa nos fechamentos

Para maior estabilidade e segurança operacional do processo de drenagem foi necessário desenvolver uma metodologia de reparo robusto para as capelas e de forma sistêmica, por meio de padrões operacionais, nas paradas de manutenção deve-se garantir o cumprimento.

Neste cenário observou-se que o caminho crítico das manutenções preventivas era o reparo das capelas. Em 2021, houve aumento da frequência de paradas não programadas no Alto-forno 1 para reparo das capelas devido à eventos de falha de vedação e fragilização do anel do furo de gusa. Os reparos neste momento estavam

sendo realizados de forma paliativa (200mm de profundidade na região do anel) e com o reator em operação. A condição de vazamentos de gás impedia a correta solidificação do concreto gerando poros que deixavam o anel frágil e propício a desgaste excessivo devido à sua baixa resistência mecânica.

Estudos para melhoria dos procedimentos de abertura, obturação e preparação da área de corrida são muito diversificados. Elton Silva Neves et. al em 2014 escreveu sobre a metodologia Core & Plug™ e Core & Cast™, empregada em um alto-forno para o reparo do miolo do furo de gusa através da furação com serra copo evitando danificar os refratários de carbono do furo de gusa e paredes adjacentes reduzindo o tempo de reparo. Segundo Elton 2014, o reparo realizado atendeu as expectativas de desempenho proporcionando maior segurança operacional e disponibilidade do ativo. Segue na figura 6 o conceito empregado.

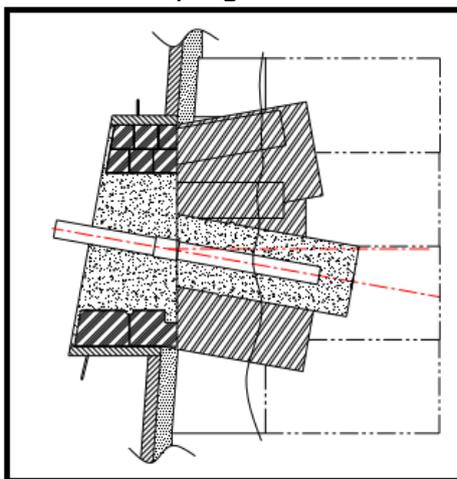


Figura 6: Conceito Core & Plug™ utilizado no reparo em 2008.

Segundo Talaat 2011, o conceito do método Core & Plug™ consiste em furar com serra copo a região do refratário degradado, retirar o material pela abertura da capela e instalar múltiplos plugs interligados feitos de carbono micro poro para restaurar a parede refratária na área do furo de gusa. O conceito também inclui blocos de grafite no formato da capela e concreto refratário instalado dentro da capela conforme mostrado na Figura 6.

Segundo Talaat, (2) o método Core & Cast™ também faz o uso da serra copo para perfurar o refratário danificado, retirar através da abertura da capela e concretar conforme ilustrado na Figura 7. Esse conceito não foi desenvolvido para ser um reparo permanente, mas sim para ser um reparo com foco na preservação dos refratários dos furos de gusa.

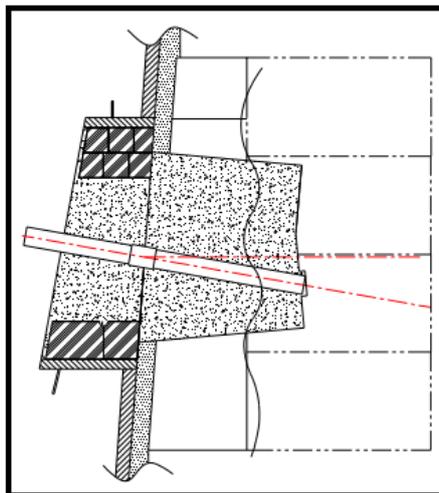


Figura 7: Conceito Core & Cast™ utilizado no reparo em 2008 na CSN.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos:

Na Gerdau em 2019 foi desenvolvida uma metodologia em conjunto com empresas parceiras na área de serviços refratários para sanar vazamentos de gás e recuperar a condição refratária da capela dos furos de gusa do Alto-Forno 1. Este procedimento foi aprimorado e aplicado de forma cadenciada para analisar os impactos de cada melhoria.

Este trabalho de recuperação de capela foi dividido em algumas etapas:

- 2.1.1 Desenvolver método de reparo parcial (utilizado em paradas não programadas ou programadas de curta duração (tempo inferior a 24 horas);
- 2.1.2 Método de reparo completo (canal em manutenção e paradas programadas de duração superior há 24 horas);
- 2.1.3 Sistematização do cronograma de reparo;
- 2.1.4 Prolongamento da face frontal das capelas;
- 2.1.5 Injeção de massa fina (vedar trincas na região da capela).

#### 2.1.1 Reparo Paliativo

Este método de reparo é dito paliativo, pois tem como foco postergar a realização de um reparo profundo quando existe uma necessidade de prolongamento da campanha de um furo de gusa entre paradas programadas. A seguir, temos o passo a passo deste método:

- I) Escariamento de 300mm no anel do furo de gusa;
- II) Limpeza do refratário ao redor da capela;
- III) Soldagem das chapas de contenção;
- IV) Concretagem do anel do furo de gusa;
- V) Tempo de cura do concreto;

Conforme listado acima, o escariamento é a primeira etapa desse trabalho. A principal vantagem desse serviço é permitir que o reparo seja iniciado com o alto-

forno em operação (para furo de gusa em intervalo de reparo de canal) e baixo impacto de vibração na capela (escariamento é realizado com o próprio perfurador). O escariamento do anel do furo de gusa é realizado até uma profundidade de 300mm, para garantir melhor ancoragem no novo refratário.

A demolição é feita em sequência. Somente é removido o excesso de material ao redor do anel do furo de gusa para que o concreto que será aplicado tenha boa aderência. Essa limpeza é feita com ferramentas manuais, em geral uso do martetele e ar comprimido para limpeza do local.

O trabalho de preparação do anel tem como tempo previsto de 2 horas.

Após a área preparada temos a soldagem da chapa de concretagem do anel do furo de gusa. A chapa é travada nas laterais da capela e é responsável por garantir o enchimento de toda a região demolida com concreto. Abaixo temos na figura 8 uma foto de exemplo.



Figura 8: Capela do furo de gusa preparada para concretagem

A seguir temos a concretagem da capela. Este é o passo mais importante da atividade, pois qualquer falha na preparação do material pode gerar falhas imperceptíveis no curto prazo e se tornarem grande armadilhas para a operação de obturação do furo de gusa durante as corridas.

O tempo para remoção da forma é de cerca de 4 horas e na sequência já possível o alinhamento dos equipamentos com a moldagem de um novo anel para o furo de gusa.

### 2.1.2 Reparo Completo da capela

Este método de reparo é dito completo e tem como foco reparar toda a extensão da capela do furo de gusa. O refratário da região é removido integralmente e a profundidade pode variar entre 500 e 600 mm, de acordo com a condição do material demolido. Neste reparo temos um tempo de atividade consideravelmente maior do que no reparo paliativo e o canal precisa estar em manutenção durante a parada programada.

Os passos desse trabalho de recuperação estão listados abaixo:

- I) Demolição mecanizada do refratário da capela
- II) Limpeza detalhada da região da capela (remoção de ancoras, refratário aderido à parede e inspeção da região).
- III) Uso de âncoras na face e reconstituição da projeção metálica da capela;
- IV) Montagem da chapa de contenção do concreto

- V) Concretagem do anel do furo de gusa
- VI) Tempo de cura do concreto

Através de uma máquina de corte de refratário, toda a extensão da capela do furo de gusa é removida. Essa atividade inicia-se logo no início da parada do Alto-Forno e tem uma duração de até 6 horas.

Após a limpeza da região foi implementado uma melhoria de soldagem do prolongamento da capela do furo de gusa em 200mm de extensão.

Na figura 9 temos uma foto exemplar da região demolida e com as âncoras já soldadas nas faces da projeção e capela.



Figura 9: Capela do furo de gusa preparada para a concretagem

Para a concretagem da capela em ambos os métodos foi utilizado um material sílico-aluminoso de alta resistência à erosão por escória e gusa.

### 2.1.3 Sistematização dos reparos

Os métodos de reparo são continuamente aprimorados para economia de tempo e melhor qualidade do serviço. A frequência e o plano de reparos quando padronizados permitirão maior performance e segurança operacional.

O diagrama esquemático da Figura 10 exemplifica o modelo mental de planejamento dos reparos das capelas dos furos de gusa.

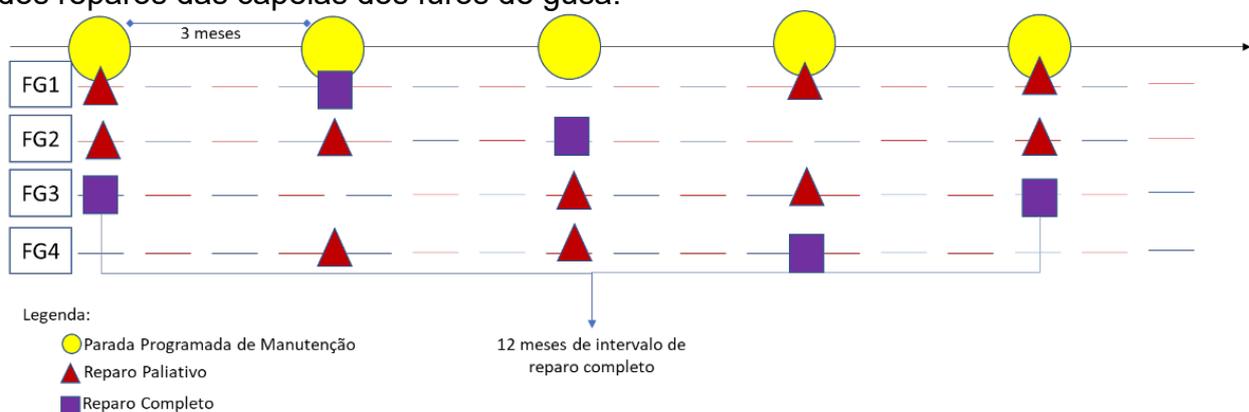


Figura 10: Diagrama de reparo das capelas dos furos de gusa

A frequência de reparo das capelas demonstrada acima é a etapa mais importante da filosofia de preservação das capelas. As oportunidades de intervenção nos furos

de gusa variam de acordo com as datas das paradas do alto-forno e os intervalos de manutenção dos canais.

O maior ganho obtido nesse trabalho sem dúvida está na padronização da frequência dos reparos. A análise contínua das oportunidades de melhoria no serviço de reparo assim como dos ganhos obtidos em cada um deles permitirá ao especialista maior riqueza de informações para otimizar seu desenvolvimento.

#### 2.1.4 Prolongamento da face frontal das capelas

Foi desenvolvido também uma projeção para as capelas. Esta projeção permite maior ancoragem de refratário e estender o comprimento da capela, aproximando-a do início da parte reta da trajetória elíptica do canhão ao girar em direção a boca.

O canhão possui diferentes comprimentos de bico para melhor operação. Quando a capela aprofunda é necessário aumentar o comprimento desse bico. Quanto maior o bico, maior o risco da sinterização da massa. À medida que a profundidade aumenta, a vedação entre o bico e a capela piora, gerando retorno de massa e falhas de vedação. Essa projeção permitiu operar duas campanhas (cerca de 60 dias) com os bicos curtos e médios, reduzindo retorno de massa e sinterização da massa no bico.

Na figura 11 temos o desenho dessa projeção.

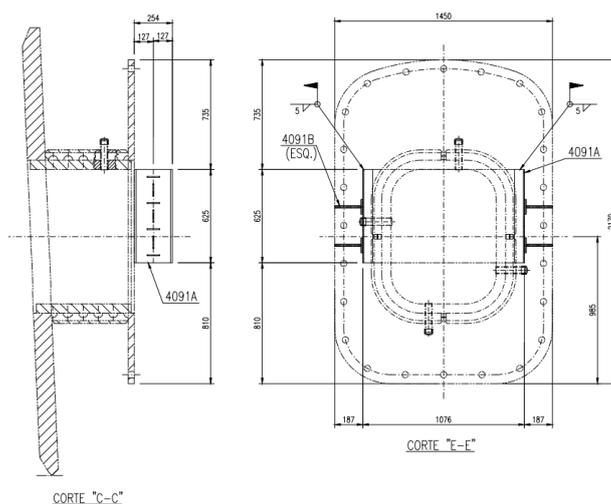


Figura 11: Ilustração da projeção soldada na parte frontal da capela

#### 2.1.4 Injeção de massa fina

A injeção de massa fina é a quarta etapa desse trabalho. Utilizando de uma massa de tamponamento de menor granulometria e maior trabalhabilidade foi padronizada a injeção de massa no intervalo de uma corrida diariamente.

A massa fina é carregada no canhão após o fechamento da corrida. O canhão é abastecido com cerca de 120 kg dessa massa e na parte de traz do cilindro de abastecimento, o operador insere massa de tamponamento de linha, garantindo a vedação do cilindro de injeção.

A perfuração do furo de gusa é realizada até o fagulhamento. Os comprimentos dos furos de gusa no Alto-Forno 1 variam normalmente entre 3000 e 3500mm, assim por volta de 2700mm paralisa-se a perfuração sem atingir o vazamento. Neste momento é feita a injeção de massa com o canhão objetivando pressões próximas ao de referência do sistema hidráulico (em torno de 250 bar).

A massa fina permite vedar trincas na região do furo e mitigar a passagem de gás pelo cogumelo. Esse processo precisa ser repetido diariamente para alcançar melhores resultados. Veja na Figura 12 a preparação do canhão de massa.

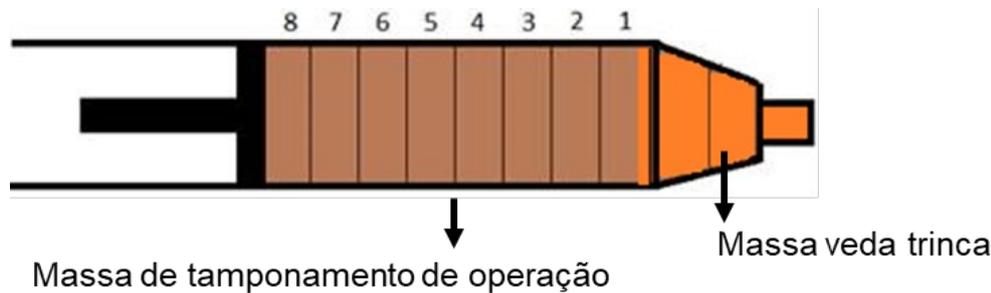


Figura 12: Esquemático da preparação do canhão

## 2.2 Resultados

Após 2 anos trabalhando na sistematização dos reparos das capelas o principal resultado obtido é a redução dos vazamentos de gás nas capelas dos furos de gusa. Na figura 13 temos um comparativo:

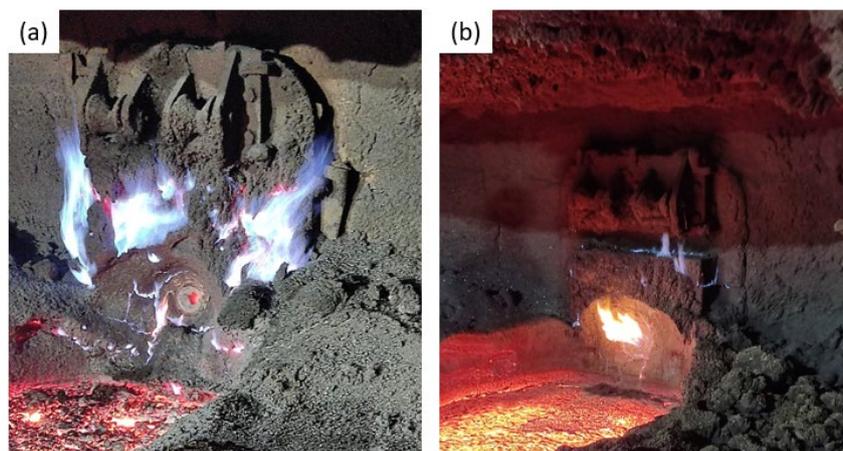


Figura 13: Furo de gusa (a) antes da sistematização dos reparos e (b) após a implementação da filosofia

À medida que se reduziu os vazamentos de gás e melhorou-se a condição física do refratário do anel observou-se uma melhoria considerável na qualidade das obturações dos furos de gusa. Na figura 14, observa-se a evolução do número de fechamentos de corrida com retorno de massa.

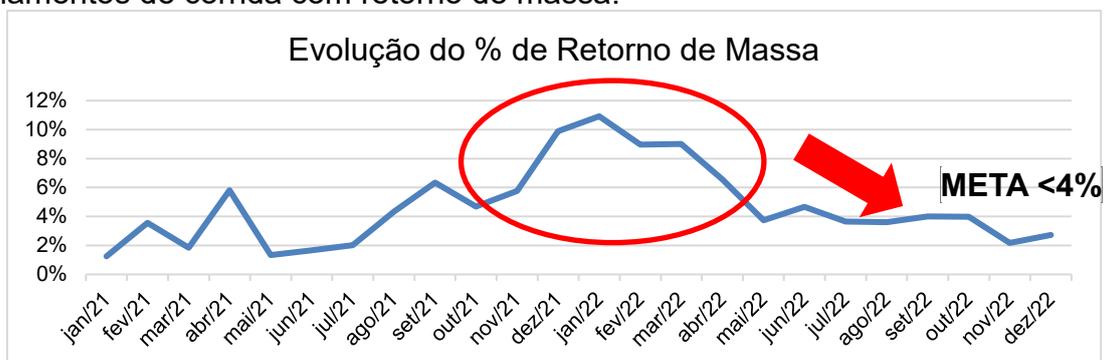


Figura 14: Número de eventos de retorno de massa nos fechamentos

Em linha com a melhoria da injeção de massa temos o reflexo no comprimento do furo de gusa, é perceptível a evolução e estabilização do parâmetro, veja na Figura 15.

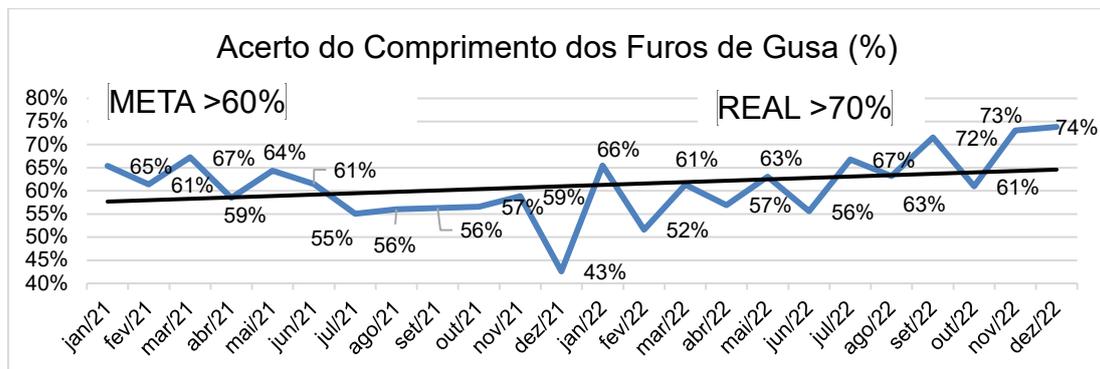


Figura 15: Performance do comprimento dos furos de gusa (média/mês)

Conforme mostrado nos gráficos acima, é perceptível a importância do trabalho de preservação das capelas de forma preventiva e sistêmica. Os riscos de falhas de vedação ou obturação do furo de gusa são muito altos e refletem na segurança de todos os colaboradores envolvidos. A evolução média do acerto do comprimento dos furos de gusa para a faixa visada entre 3100mm e 3500mm evoluiu cerca de 8%, partindo da ordem de 65% de acerto para 74% de acerto.

Na figura 16 temos a redução drástica de eventos de arrombamentos ou falhas de vedação nos furos de gusa para o período de 1 ano após o início da metodologia.

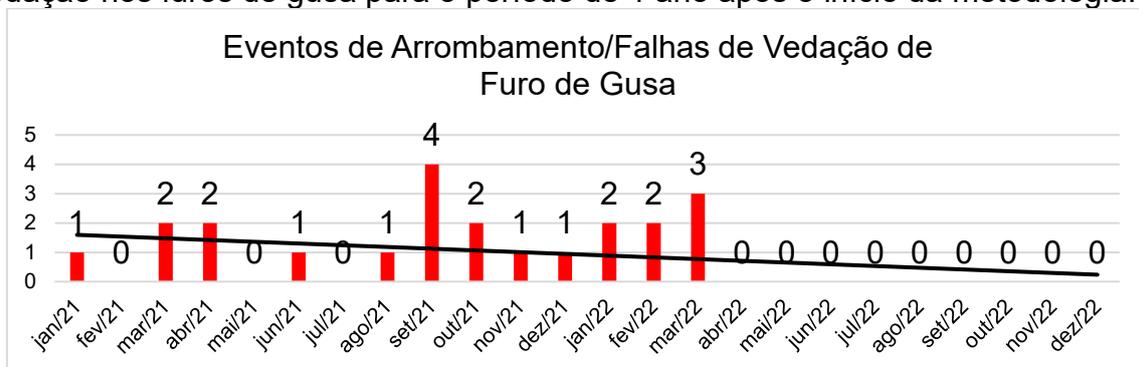


Figura 16: Evolução na segurança do processo de obturação dos furos de gusa

### 3 CONCLUSÃO

A filosofia de preservação das capelas adotada no Alto-Forno 1 da Gerdau Ouro Branco permitiu avanços consideráveis na performance operacional da área de corrida. O principal destaque desse trabalho é a segurança operacional visto a redução do número de eventos de retorno de massa e logo aumento do acerto da injeção de massa, refletindo em maior reposição da massa que protege o furo de gusa e estabiliza o comprimento.

É sabido que os métodos de reparo fazem parte de uma cultura de melhoria contínua e muito se pode aprimorar quando se tem referências consistentes do resultado entregue. A construção de um modelo sistêmico de reparos das capelas permitirá à equipe operacional maior segurança na rotina e menor frequência de eventos críticos (falhas de vedação ou arrombamento de furos de gusa).

Esse trabalho de preservação é contínuo e permitirá consolidar boas práticas até a reforma do ativo, no qual se prevê uma modernização nos canhões de massa e perfuradores, assim como a substituição dos refratários do cadinho e melhorias nas capelas dos furos de gusa.

## REFERÊNCIAS

- 1 SCUDELLER, L., A., M., Avaliação da Massa de Tamponamento Através da Sua Caracterização e da Monitoração e Simulação Operacional do Furo Decorrida de Alto-Forno, 1997, 234 f., Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1997.
- 2 TALAAT, T. “Blast Furnace 3 Taphole Repairs: Core & Cast™ and Core & Plug™ Method” Volta Redonda – RJ, Brazil, 2011.
- 3 NEVES, ES, “Manutenção dos furos de gusa do Alto-Forno 3 da CSN através da tecnologia CORE & PLUG™” Volta Redonda -RJ, Brasil ,2014.