

## PRESERVAÇÃO REFRAATÁRIA DE BATERIAS DE COQUE\*

Marcus Vinicius Dias Garcia<sup>1</sup>  
Ricardo Leite Passos<sup>2</sup>  
Isis Santos Costa<sup>3</sup>  
Augusto D'Arruda<sup>4</sup>  
Odilo José F S Junior<sup>5</sup>

### Resumo

O presente trabalho tem por objetivo contribuir para a preservação refratária de baterias de coque, apresentando uma metodologia de planejamento e controle. A condição dos refratários de baterias de coque é crucial para sua produtividade e para o cumprimento de diretrizes ambientais. São desafios (i) a identificação precoce de danos e previsão de seu efeito no desgaste global da bateria, para hierarquia de reparos; (ii) a seleção da técnica apropriada a cada reparo. No presente trabalho, os autores compilam o estudo da progressão de danos sob diferentes tipos de reparo ao longo de mais de 30 anos em baterias *heat-recovery* e convencionais, de diversos modelos construtivos, e o combinam a tecnologias de inspeção para consolidar uma metodologia de gestão da preservação refratária. A metodologia foi aplicada em baterias localizadas no Brasil, avaliando a condição de mais de 400 fornos em 90 dias. Para a bateria mais crítica, foi identificado um potencial de prorrogação de vida útil em torno de 10 anos.

**Palavras-chave:** Baterias de coque; Manutenção refratária; Software; Planejamento e controle.

### REFRACTORY MAINTENANCE OF COKE OVEN BATTERIES

#### Abstract

This work aims at contributing to the preservation of coke oven refractory lining, presenting a planning and control methodology. The condition of the refractory lining of coke batteries is crucial for its productivity and compliance with environmental guidelines. Among the challenges faced there are (i) the early identification of damages with prediction of their effect on the overall battery wear, defining a hierarchy of repairs; (ii) the selection of the appropriate technique for each repair. In this study, the authors compile the analysis of the progression of damages, under different types of repair, for over 30 years in heat-recovery and conventional batteries of several constructive models, and combine them with inspection technologies consolidating a methodology for managing the refractory maintenance. The methodology was applied to coke batteries located in Brazil, with assessment of more than 400 ovens in 90 days. For the most critical battery, the potential extension of lifespan was assessed as 10 years.

**Keywords:** Coke oven batteries; Refractory maintenance; Software; Planning and control.

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Química, Graduado em Engenharia Industrial Mecânica, Gerente de Divisão, Departamento Comercial, Thermojet do Brasil, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Metalúrgica, Diretor executivo, Thermojet do Brasil, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

<sup>3</sup> Mestre em Simulação e Controle de Processos, Graduada em Engenharia Química, Consultora, Æstus Industrial Solutions, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

<sup>4</sup> Graduado em Engenharia Mecânica, Consultor de Projetos, Thermojet do Brasil, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

<sup>5</sup> Graduado em Engenharia Mecatrônica, Assistente de Pesquisa e Desenvolvimento, PDI, Æstus Industrial Solutions, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto e a construção de baterias de coque envolvem centenas de milhões de dólares e a vida útil associada varia tipicamente entre 20 e 60 anos – conforme o modelo construtivo, as condições operacionais e a preservação refratária – havendo o registro de casos excepcionais, de colapso em menos de 10 anos [1,2,3,4,5].

Durante sua operação, os refratários das baterias de coque acumulam danos evolutivos e acidentais que prejudicam a produtividade e resultam num maior nível de escape não controlado de gases. Seja por demandas na melhoria operacional, seja emissão não controlada de gases, o desgaste progressivo do revestimento refratário leva à ocasional necessidade de parada da produção de um ou mais fornos, acarretando vultosos prejuízos. Com o passar dos anos, as paradas tornam-se progressivamente mais frequentes, culminando, por fim, na determinação do término da operação economicamente viável da bateria [1].

A principal estratégia de prorrogação da vida útil de baterias de coque consistia, na década de 70, na reforma de cabeceiras aos 20 anos de operação, rendendo aproximadamente 15 anos suplementares. Posteriormente, a década de 80 trouxe o advento da solda cerâmica, que viabilizou a correção pontual de danos, inclusive nas câmaras centrais da bateria. Já perto dos anos 90, os tijolos de zero expansão trouxeram novas possibilidades, incluindo a substituição modular de paredes [2].

Nos anos que se seguiram, houve uma progressiva migração da atuação esporádica e emergencial para abordagens mais sistemáticas. Cresceram, então, em importância as metodologias de planejamento e controle da preservação refratária, orientando a execução periódica de reparos [1].

Não obstante o fato de que ocorram eventuais danos catastróficos, de grande impacto e evidente necessidade de intervenção emergencial (Figura 1), a situação típica do refratário de baterias de coque é de administração de continuada e colossal incidência de danos sutis, cuja evolução é inevidente e intrincada (Figura 2). Considerando-se o provisionamento de um volume finito de recursos para a preservação refratária, cabe, então, ao gestor responsável definir quais dos danos trarão, com seu reparo, uma contribuição significativa à vida útil global da bateria e que estratégias de reparo são econômica e tecnicamente as mais eficazes.



**Figura 1.** Desmoronamento de parede.



**Figura 2.** Trincas e desgaste no *jamb joint*.

Para tal mister, as principais ferramentas atualmente disponíveis são as seguintes [1]:

- Inspeção visual simples
- Inspeção visual ranqueada
- Inspeção por aparelhos
- Diagnose de idade
- Classificação por *software*

O presente trabalho ilustra a aplicação industrial simultânea das ferramentas listadas acima. São apresentadas adiante as contribuições de cada ferramenta (Materiais e Métodos) e os efeitos de sua aplicação como solução integrada (Resultados e Discussão).

As ferramentas foram consolidadas no *software* COBRA (*Coke Oven Batteries Refractory Assistant*: Assistente de Refratário de Baterias de Coque), projetado para armazenar e analisar um número ilimitado de informações e imagens sobre a condição do revestimento refratário e efetuar estimativas de sua evolução, orientando ativa e incessantemente a realização das ações mais eficazes na minimização do tempo de parada e no prolongamento da vida útil de baterias de coque.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme supramencionado, o presente trabalho ilustra a aplicação industrial simultânea das seguintes ferramentas:

### 2.1 Inspeção visual simples

A inspeção visual é, ainda, o modo mais frequente de coleta de dados sobre os refratários da bateria e consiste na observação pelo inspetor da situação das paredes e periféricos, registrada visualmente na forma de um mapeamento de danos.

Na inspeção visual simples são realizadas anotações livres (“carbono” na Figura 3) sobre desenhos esquemáticos das paredes e demais regiões dos fornos e câmaras



da bateria. O produto final recebido pelo gestor da bateria é uma coletânea de imagens contendo a descrição individual dos danos identificados e sua localização.

## 2.2 Inspeção visual ranqueada

Superando limitações da inspeção visual simples, a inspeção visual ranqueada (índices numéricos na Figura 3) apresenta um sistema de classificação, estabelecendo uma escala de criticidade de danos. Em lugar da descrição livre, os danos são, então, registrados com uma determinada nota (*rating*), que permite sua comparação e a determinação de sua prioridade relativa.

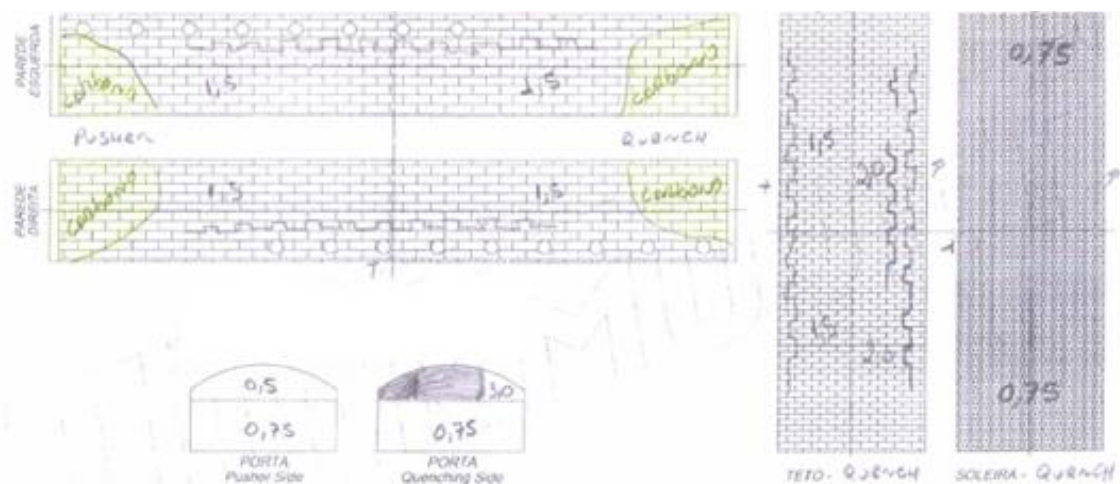


Figura 3. Mapa de danos em bateria de coque.

## 2.3 Inspeção por aparelhos

Na inspeção por aparelhos, endoscópios e câmeras de alta resolução viabilizam a obtenção de fotos e vídeos detalhados do interior da bateria, fazendo com que o inspetor produza vivamente a sensação de se caminhar pelo interior dos fornos, câmaras e periféricos.

O banco de imagens gerado permite que toda uma equipe conferencie sobre determinado dano, como se o observasse presencialmente (Figura 4).

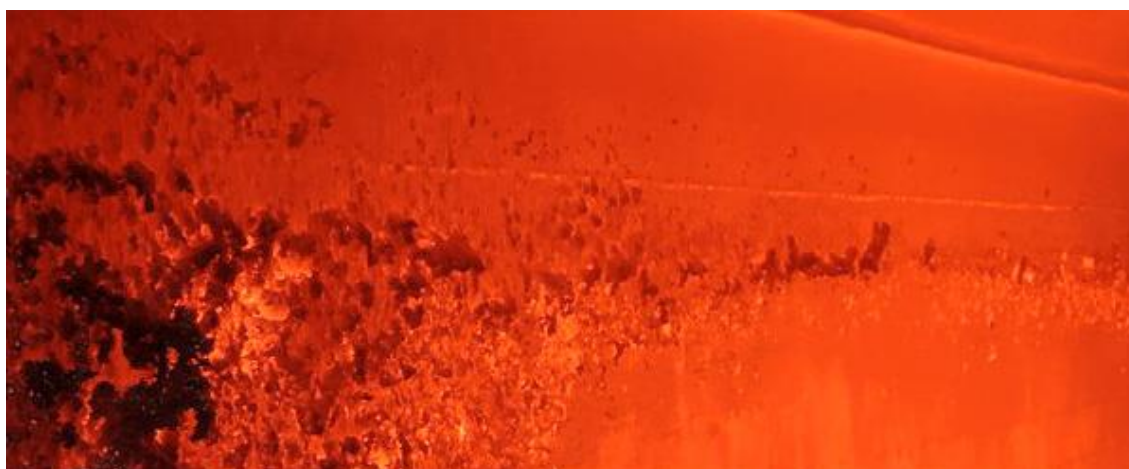


Figura 4. Imagem de Diagnose Refratária.

## 2.4 Diagnóstico de idade

A diagnose de idade consiste num aparato teórico que permite a avaliação do estado geral dos refratários da bateria, em comparação ao que seria esperado para as condições previstas em projeto.

A avaliação realiza-se por meio de um gráfico comparando idade diagnosticada e idade cronológica ao longo do tempo. A idade cronológica é invariavelmente representada como uma reta, indica simplesmente a passagem do tempo e é referência para a análise da condição real da bateria.

A idade diagnosticada é calculada a partir da vida útil remanescente estimada por modelos empíricos, que ponderam resultados da inspeção visual e por aparelhos, tomando em consideração dados do comportamento térmico e cartas de operação da bateria, quando disponíveis. Caso a idade diagnosticada esteja acima da referência, a bateria encontra-se mais idosa e, portanto, mais deteriorada do que o esperado. Tomando-se medidas para melhoria da condição refratária, pode-se retornar à evolução normal ou mesmo obter um desempenho superior às condições previstas em projeto (Figura 5).

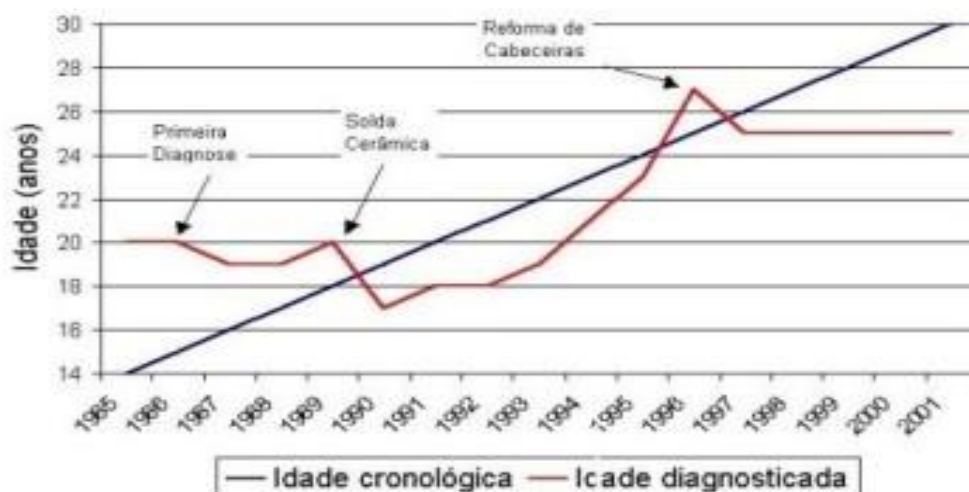
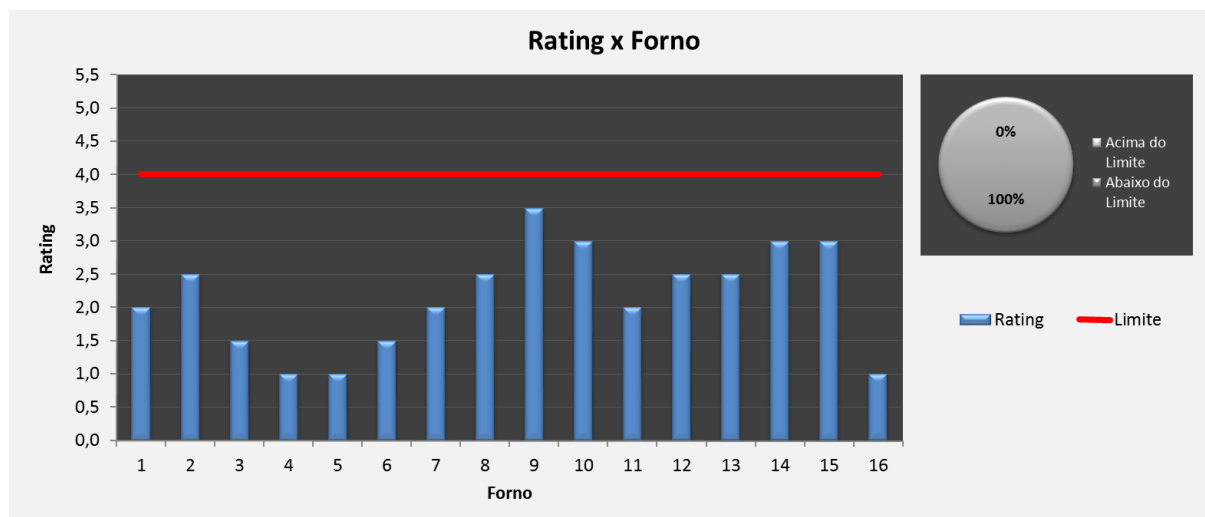


Figura 5. Gráfico de Diagnóstico de Idade.

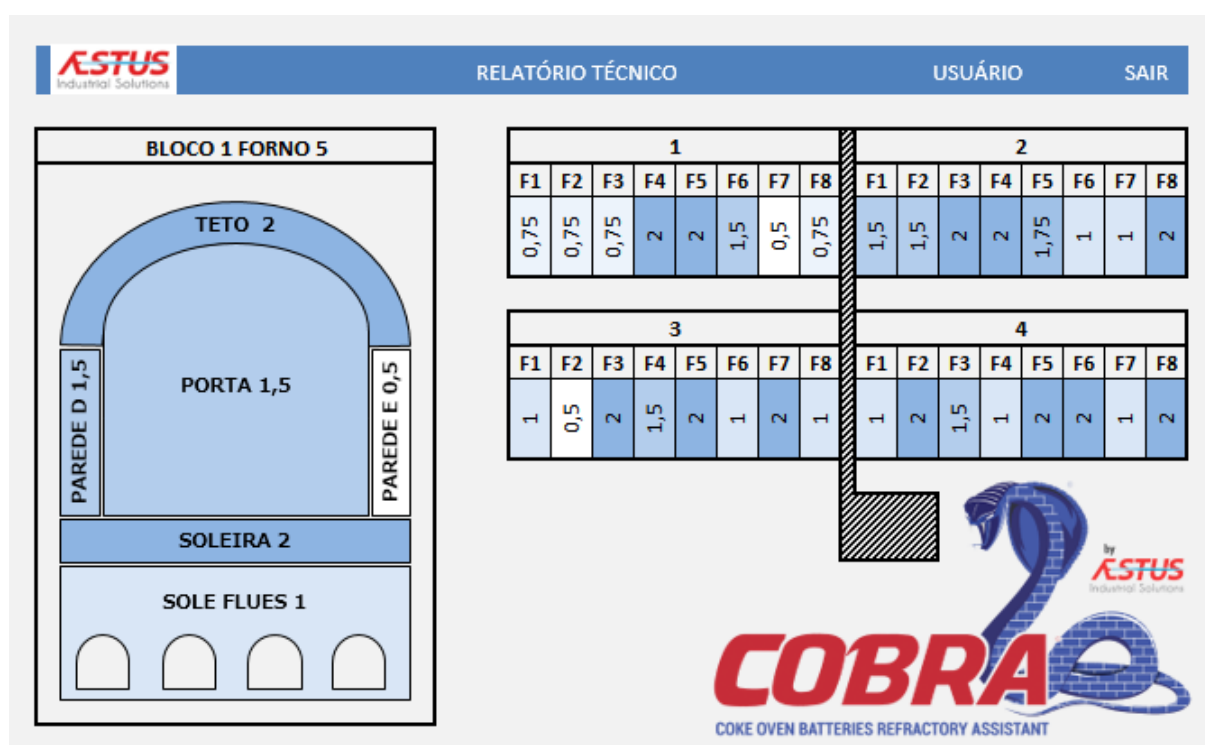
## 2.5 Classificação pelo software COBRA

No presente trabalho, foram programadas e realizadas inspeções visuais e por aparelhos em todas as regiões de algumas centenas de fornos. Para facilitar o planejamento e viabilizar a análise integral do expressivo volume de dados e imagens gerado, foi desenvolvido o programa computacional COBRA, em Linguagem de Consulta Estruturada (SQL, *Structured Query Language*).

O COBRA incorpora em seu código um sistema de ranqueamento com escala de criticidade de 0 a 5, em que a avaliação com nota 0 indica uma excelente condição dos refratários (criticidade nula) e a nota 5 indica uma condição refratária em estado crítico (criticidade máxima). Uma vez inseridos os dados e imagens, o COBRA produz relatórios automáticos, acessados remotamente por login e senha individuais, incluindo gráficos (Figura 6) e mapeamentos (Figura 7).



**Figura 6.** Gráfico de criticidade relativa de fornos.



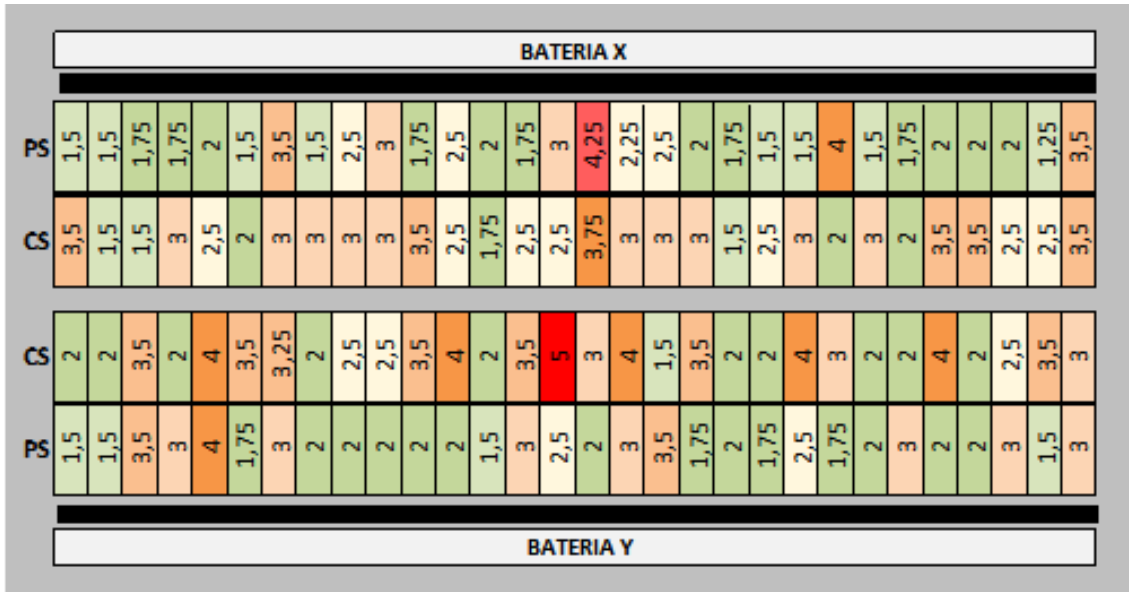
**Figura 7.** Mapeamento panorâmico e detalhe de índices de criticidade de refratários.

Os mapeamentos gerados correspondem ao layout específico de cada bateria, construído a partir de parâmetros iniciais informados ao sistema. O relatório inclui ainda o gráfico de diagnose de idade (Figura 5), além de uma tabela de classificação geral de fornos, um cronograma hierárquico de ações recomendadas e um gráfico de vida útil remanescente estimada, apresentados a seguir em aplicação industrial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO


A aplicação integrada de inspeção visual, simples e ranqueada, e por aparelhos, combinada à diagnose de idade, incorporada no *software* COBRA, racionalizou o processo de inspeção das baterias estudadas, permitindo o levantamento integral da condição refratária de mais de 400 fornos em apenas 90 dias.

A Figura 8 apresenta resultados obtidos na aplicação da metodologia relatada em duas baterias estudadas. O mapeamento permite rapidamente identificar a localização central dos fornos com mais alto índice de criticidade na representação apresentada. Observa-se também de imediato um desgaste sistematicamente mais elevado no lado CS da bateria. O mapeamento ilustrado como exemplo refere-se ao *rating* geral de cada forno, considerando as condições de todas as regiões avaliadas. Na interface do programa, é possível variar dinamicamente essa visualização, realizando-se filtragens por bateria, por região do forno, ou por tipo de dano encontrado, por exemplo, o que permite uma ampla análise da condição refratária e de possíveis causas das avarias.




**Figura 8.** Mapeamento panorâmico do índice de criticidade de refratários em parte dos fornos de duas baterias estudadas.

As informações obtidas na coleta, organização e análise dos dados de inspeção permitem ordenar os fornos conforme a criticidade de sua condição refratária e, conseqüentemente, conforme sua prioridade na realização de uma nova intervenção, inspeção ou reparo, gerando uma tabela de classificação geral, parcialmente ilustrada na Figura 9 para uma bateria estudada. A tabela oferece uma visão geral útil na programação de ações recorrentes de reparos e inspeções.



**Diagnose Coqueria**  
Classificação Rating por Fornos  
Ordenação por Rating



Bateria Bloco	Forno	Rating Geral Forno	Rating Ponderado Forno	Teto	Parede	Soleira	Lintel	Sole Flue	Arco SF	Porta
	15	5	5,00	1,5	0,75	1,5	3	5	1,5	1
	11	4,75	4,75	1	0,75	1,5	2,5	4,75	1	2,5
	4	4,5	1,61	2	0,25	1	4,5	2	1	2
	4	4,5	4,50	1	1	1,5	3	4,5	1,5	1,5
	5	4,5	4,50	2	1	1,5	2,5	4,5	1	3,5
	10	4,5	4,50	1,5	0,5	0,5	3,5	4,5	2,5	4

**Figura 9.** Tabela de classificação geral de fornos de uma bateria estudada.



Definida a ordem prioritária de atuação nos fornos, permanece pendente o desafio de determinar que método de reparo utilizar em cada tipo de avaria diagnosticada, ou, ainda, se as avarias necessitam efetivamente de reparos ou apenas uma nova inspeção futura poderia ser mais vantajosa economicamente.

A Figura 10 ilustra o exemplo de um forno no qual os danos identificados foram todos de baixa criticidade, resultando em que a ação mais recomendada fosse uma nova inspeção futura. A determinação da data de tal inspeção ou do reparo recomendado, quando for o caso, é calculada com base em modelo empírico validado na observação do progresso de danos sob diferentes tipos de reparo ao longo de mais de 30 anos de atividades em baterias *heat-recovery* e convencionais de diversos modelos construtivos.



### Diagnose Coqueria Data Base e Recomendações



Forno	Região	PS/CS	Data Inspeção	Rating Dano	Tipo Dano	Data Próxima Inspeção	Vida Útil Remanescente	Ação Recomendada
1	Parede	CS	20/10/15	0,75	Depósito de Carbono	24/01/17	276 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Parede	PS	20/10/15	0,75	Depósito de Carbono	24/01/17	276 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Parede	CS	20/10/15	0,75	Depósito de Carbono	24/01/17	276 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Parede	PS	20/10/15	0,75	Depósito de Carbono	24/01/17	276 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Porta	CS	20/10/15	0,50	Desgaste Natural	20/06/17	285 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Porta	CS	20/10/15	1,00	Buraco	13/09/16	250 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Porta	PS	20/10/15	0,50	Desgaste Natural	20/06/17	285 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Porta	PS	20/10/15	1,50	Trinca	07/06/16	190 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Teto	CS	20/10/15	1,50	Junta Aberta	07/06/16	190 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Teto	PS	20/10/15	1,50	Junta Aberta	07/06/16	190 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Teto	CS	20/10/15	1,50	Junta Aberta	07/06/16	190 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Teto	PS	20/10/15	1,50	Junta Aberta	07/06/16	190 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Soleira	CS	20/10/15	1,25	Desgaste Erosivo	19/07/16	230 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Soleira	PS	20/10/15	1,50	Desgaste Erosivo	07/06/16	190 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Soleira	CS	20/10/15	1,25	Desgaste Erosivo	19/07/16	230 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Soleira	PS	20/10/15	1,50	Desgaste Erosivo	07/06/16	190 meses	Inspeção para Observar Avanço
1	Sole Flue	PS	30/10/15	0,75	Desgaste Natural	03/02/17	276 meses	Inspeção para Observar Avanço

©Propriedade Intelectual da Thermojet do Brasil Ltda. Todos os direitos reservados.

**Figura 10.** Cronograma hierárquico de ações recomendadas para uma bateria estudada

O controle da preservação refratária sustenta-se na análise da evolução da condição do revestimento da bateria ao longo do tempo. No presente estudo, essa análise foi realizada utilizando como parâmetros a vida útil remanescente estimada para cada forno (Figura 11) e a respectiva idade diagnosticada de uma bateria estudada (Figura 12).

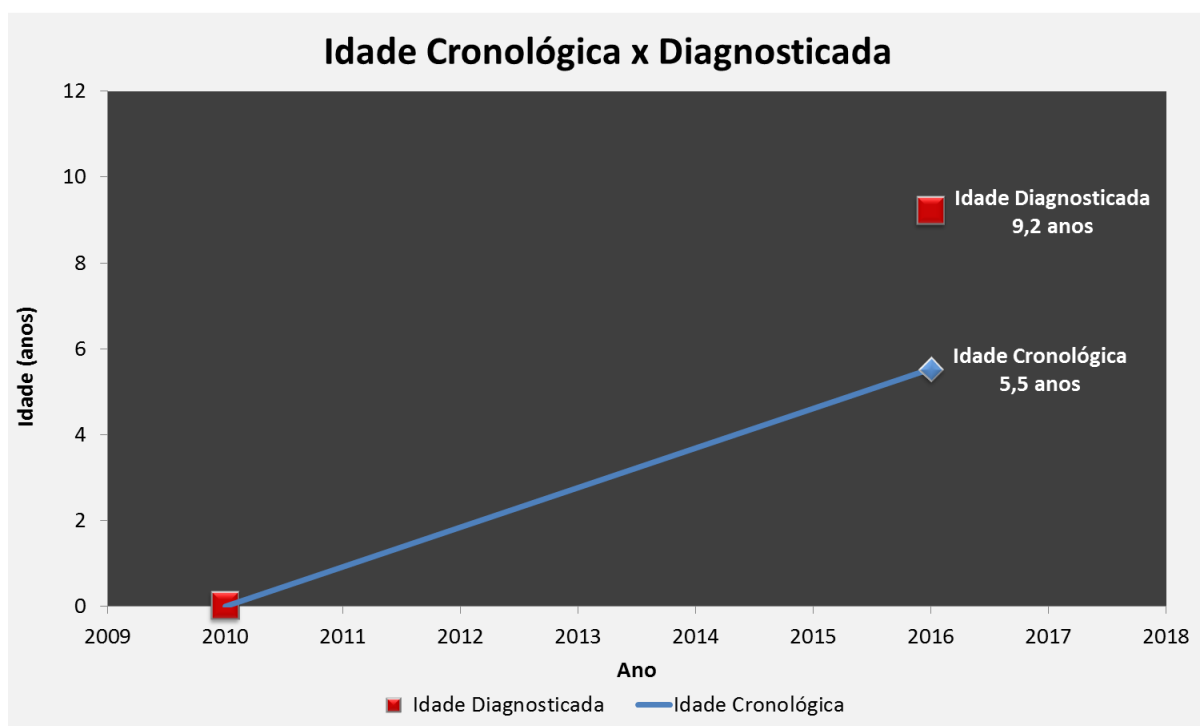
Com relação à vida útil remanescente, observa-se na Figura 11 uma ampla faixa de variabilidade entre os fornos. Nessa condição, torna-se ainda mais relevante atuar estrategicamente nos fornos mais críticos. O gráfico apresenta nove colunas altas, cujo elevado comprimento exprime a alta expectativa de vida útil remanescente associada aos respectivos fornos. Sem a realização dessa análise, poder-se-ia tomar a decisão de efetuar prontamente reparos nesses nove fornos. Diante da Figura 11, no entanto, conclui-se que há maior racionalidade na aplicação prioritária dos recursos disponíveis na melhoria da condição dos demais fornos, em direção à equiparação da condição geral refratária, ou seja, objetivando-se, fundamentalmente, equalizar a altura das colunas do gráfico.





**Figura 11.** Vida útil remanescente estimada para fornos de uma bateria estudada.

Quanto à diagnose de idade, o gráfico ilustrado na Figura 12 permite verificar se a degradação refratária da bateria ocorre conforme o esperado ou de forma acelerada. Observa-se no gráfico que, quando a bateria estudada apresentava idade cronológica de 5,5 anos, sua idade diagnosticada era de 9,2 anos. Tem-se, portanto, que, no período avaliado, a bateria envelheceu em média 1,7 ano para cada ano operacional. Tomando-se o dado de que a vida útil esperada para essa bateria é de 25 anos e dividindo esse valor pela taxa calculada, conclui-se que aos 15 anos de operação a bateria estaria na condição prevista para ser desativada, caso continuasse a degradar a essa mesma taxa. Somando-se a isso a constatação de que a taxa de degradação das baterias, normalmente, eleva-se com o passar do tempo [4,5], estima-se que um controle rigoroso e permanente da preservação refratária possa prolongar a vida útil dessa bateria em 10 anos.



**Figura 12.** Gráfico de Diagnose de Idade de uma bateria estudada.

## 4 CONCLUSÃO

A utilização de metodologias específicas para o planejamento e o controle da preservação refratária permitem um enfoque pontual na coleta de dados, tornando sua eficiência elevada, como se verificou no presente trabalho com a avaliação minuciosa de todas as regiões refratadas de mais 400 fornos, em apenas 90 dias.

O uso de interfaces gráficas customizadas permite a rápida identificação de padrões de incidência de danos, como o predomínio da degradação do lado CS, evidenciado no mapeamento panorâmico do índice de criticidade de refratários das baterias estudadas.

O armazenamento e a análise de grande volume de dados coletados em inspeção global de baterias permitem a geração de tabelas de prioridades de intervenção que, combinadas a modelos empíricos, viabilizam a elaboração de cronograma hierárquico de ações (e inações) recomendadas.

Ademais, o exame de parâmetros indicativos da condição refratária ao longo do tempo de operação da bateria enseja a racionalização da preservação refratária. Especificamente, tomando-se o parâmetro de vida útil remanescente, exemplificou-se uma oportunidade de melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para a preservação.

Quanto ao parâmetro de idade diagnosticada da bateria, conclui-se que a adoção de um sistema permanente de planejamento e controle da preservação refratária oportuniza ganhos expressivos, exemplificados no potencial de prorrogação em 10 anos da vida útil da bateria estudada.

## REFERÊNCIAS

- 1 Marcus Vinicius Dias Garcia. Manutenção e Preservação Refratária em Coquerias. Curso ABM; Refratários para Siderurgia: redução; 2006/2008; 01-22.
- 2 Schoen R. Continuous Improvement in the Maintenance of Coke Oven Batteries. Foundry Facts. 2004; Nº4: 1-2.
- 3 Sarna SK. Coke Oven Refractory Repairs. Ispat Guru. 2015 [acesso em 01 abr. 2016]. Disponível em: <http://ispatguru.com/coke-oven-refractory-repairs/>.
- 4 Cordova M, Madias J. Coke Oven Life Prolongation – A Multidisciplinary Approach. 45º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas. 2015: 01-10.
- 5 Kasai K, Tsutsui Y. Recent Technology of Coke Oven Refractories. Nippon Steel Technical Report. 2008; (98): 55-62.