

AUTOMAÇÃO DO EOF*

*Celso Dias Barão¹
Marcelo Ferreira Martins²
Leandro Martins Pereira³
Daniel de Paula Ferreira⁴
Sandro Luís Zahner⁵*

Resumo

O EOF é um forno básico a oxigênio caracterizado pelo conceito de pré-aquecimento da carga sólida baseado na energia da corrida anterior. Mesmo com um sistema supervisorio, a operação era totalmente manual. O trabalho consistiu no desenvolvimento e implantação de modelos matemáticos, objetivando atingir a temperatura e composição química programada para vazamento. O sistema de equações consideram todas as entradas metálicas com as respectivas composições químicas e define a quantidade necessária de energético ou refrigerante, além da adição de cales conforme a basicidade e teor de MgO objetivados na escória. O desenvolvimento passou inicialmente por um conhecimento profundo do processo, dada a excelência e originalidade do forno EOF, que é diferente dos demais convertedores a oxigênio. A seguir, foram definidos padrões e práticas operacionais que garantissem a reprodutibilidade do processo, para, finalmente, permitir o cálculo através de modelos matemáticos. Com a automação do processo foram conseguidos expressivos ganhos de produtividade, redução no consumo de materiais, aumento do rendimento metálico e menor consumo de refratários.

Palavras-chaves: Conversor; Automação; EOF.

EOF AUTOMATION

Abstract

The EOF is a basic oxygen furnace characterized by the concept of preheating of the solid charge based on the energy of the previous heat. Even with a supervisory system, the operation was manual. The work consisted in the development and implantation of mathematical models of blowing, aiming to reach the temperature and chemical composition programmed for tapping. The system of equations considers all the metallic charges with that respective chemical compositions and it defines the amount of energetic or cooling, besides the quantity of limes according to the basicity and MgO content objectified in the slag. Initially, the development went to knowledge of the process, given the excellence and originality of the EOF furnace, which is different of others BOF. Next, standards and operational practices were defined that guaranteed the reproducibility of the process, to finally allow the calculation through mathematical models. After process automation the significant gains in productivity, reduction in material consumption, increase in metal yield and lower consumption of refractories were achieved.

Keywords: BOF; Automation; EOF.

- ¹ *Sócio da ABM, Consultor da Barão Consultoria Empresarial; Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ² *Assessor de Processo da Gerdau Divinópolis, Divinópolis, MG, Brasil.*
- ³ *Assessor de Processo da Gerdau Divinópolis, Divinópolis, MG, Brasil.*
- ⁴ *Assessor de Processo da Gerdau Divinópolis, Divinópolis, MG, Brasil.*
- ⁵ *Sócio da ABM, Gerente da Aciaria da Gerdau Divinópolis, Divinópolis, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A Usina da Gerdau Divinópolis é uma siderúrgica integrada com capacidade de 600.000 t anuais para a produção de tarugos e vergalhões.

A área de redução é composta por 3 Altos Fornos a carvão vegetal que atende a carga líquida para a Aciaria.

A produção de aço é realizada em uma Aciaria a oxigênio com um misturador de 300 t, um forno EOF (Energy Optimizing Furnace) de 45 t, um forno panela e uma máquina de lingotamento contínuo de tarugos de 4 veios.

Devido às limitações no fornecimento de gusa líquido é necessário operar com elevada taxa de sucata.

1.1 Forno EOF

O EOF é um forno básico a oxigênio caracterizado pelo conceito de pré-aquecimento da carga sólida baseado na energia da corrida anterior. O corpo do forno é dividido em 4 partes: soleira, carcaça, abóboda e pré aquecedor (figura 1).

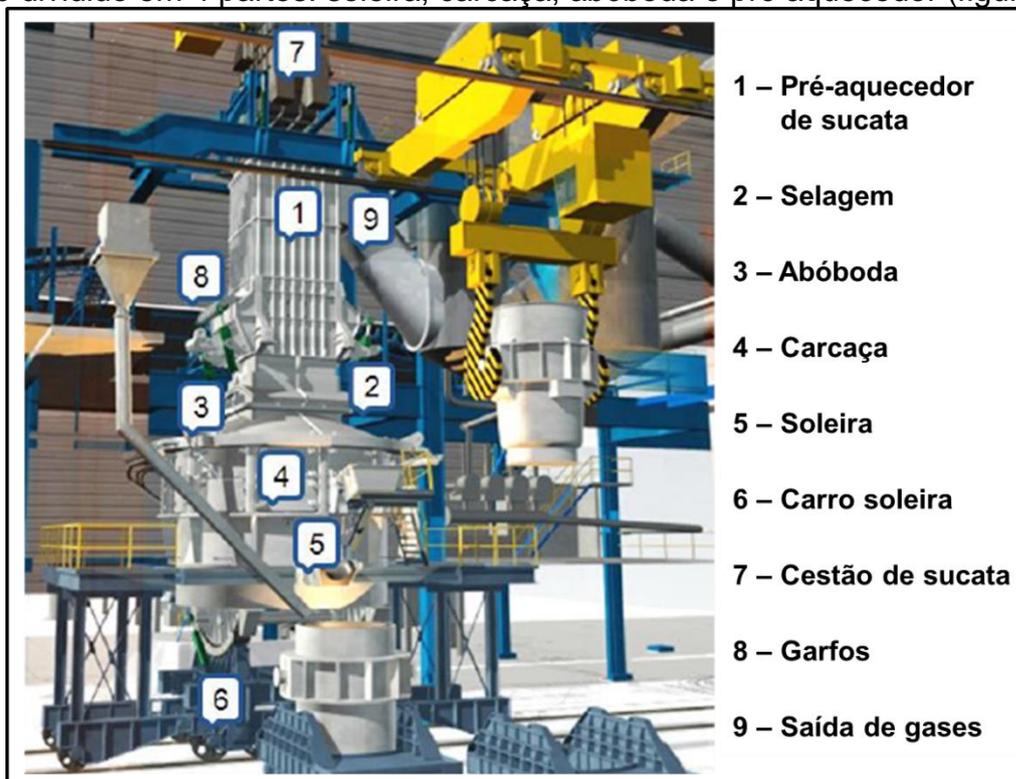


Figura 1: Principais componentes do forno EOF⁽¹⁾

Soleira: Revestida de refratário e com 2 ventaneiras e canal de vazamento de aço.

Carcaça: Na parte frontal possui uma porta (barrado) para remoção de escória, medição de temperatura, coleta de amostras e outras operações e, no lado oposto, tem uma calha (bica) para carregamento de gusa líquido. As paredes laterais são compostas por painéis refrigerados.

Abóboda: Composta por painéis refrigerados.

Pré-aquecedor: Acima da abóboda, com a sucata suportada por garfos que permitem a passagem dos gases quentes gerados na corrida. Acima deste, fica um cestão com sucata para o próximo pré-aquecimento.

Basculamento: Hidráulico com movimento de 8°, em relação à vertical, para o lado de carregamento e vazamento e 8° para o lado de escorificação.

Sistema de adição: 3 silos com cal calcítica, cal dolomítica e coque.

Medição de temperatura e amostragem: realizado em qualquer etapa do processo por sistema robotizado que determina o carbono pela temperatura de solidificação da amostra de aço.

Injeção de oxigênio: 2 ventaneiras, 4 injetores e 2 lanças supersônicas.

Devido às peculiaridades do processo, na tabela 1 é feita uma comparação com os principais processos de fabricação de aço.

Tabela 1: Comparação entre processos

| FORNO | | ELÉTRICO | LD e derivados | EOF |
|---------------------------------|--------|--------------------|----------------|--------------|
| Energia | | Elétrica e outras | Auto térmica | Auto térmica |
| Capacidade (t) | | 10 a 200 | 30 a 400 | 20 a 100 |
| Carga sólida (%) | | 60 a 100 | 5 a 20 | 20 a 35 |
| Pré-aquecimento de sucata | | Possível | Não | Sim |
| Basculamento | | ± 15° a 45° | 360° | ± 8° |
| Lança O ₂ | Número | Múltiplas | 1 | 4 ou 6 |
| | Furos | 1 | Múltiplos | 1 |
| Sopro O ₂ pelo fundo | | Sim | Sim | Sim |
| Escorificação durante processo | | Sim | Não | Sim |
| Painéis refrigerados | | Sim | Não | Sim |
| Produto | | Longo e placa fina | Longo e plano | Longo |

No processo LD e similares o oxigênio é injetado por uma única lança com múltiplos furos, posicionada no eixo central do forno, com deslocamentos vertical e/ou ventaneiras instaladas no fundo do vaso. No EOF o oxigênio é injetado por lanças supersônicas e injetores com apenas um furo e ventaneiras submersas e nos fornos elétricos existem sistemas de injeção de oxigênio, que também podem funcionar como queimadores dos gases gerados ou de combustíveis injetados durante o processo no interior do próprio forno, fornecendo uma quantidade extra de energia.

1.2 Injeção de Oxigênio no EOF

A injeção de oxigênio no forno EOF é realizada por três sistemas distintos:

Submerso: 2 ventaneiras a 300 mm do fundo e próximas a bica de vazamento, composta por 2 tubos concêntricos, sendo o interno em cobre para injeção de oxigênio e o externo em aço inoxidável para injeção de nitrogênio e água para refrigeração. Fora do período de sopro é injetado nitrogênio por ambos os tubos.

Atmosférico: 4 injetores na lateral superior soprando na superfície do banho metálico. Estima-se que 70% do oxigênio são para o processo metalúrgico e 30% para a pós-combustão.

Alta velocidade: 2 lanças supersônicas na parte superior próximas à porta de escória, com vazão constante e individualizada, com movimento de avanço e recuo. Na figura 2 é apresentado um esboço do posicionamento desses equipamentos.

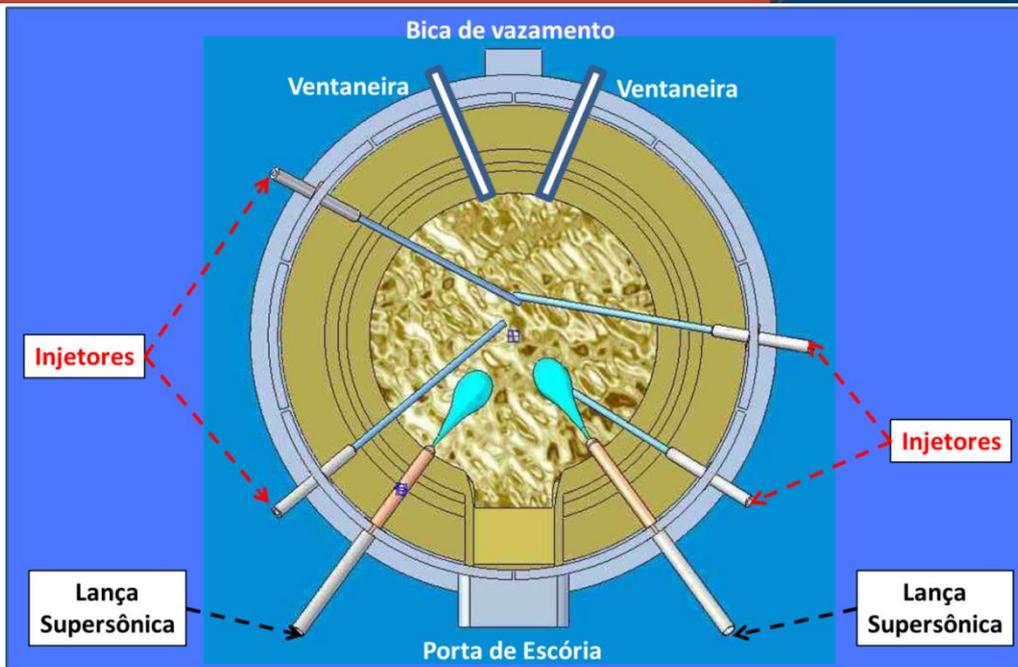


Figura 2: Posição dos equipamentos de injeção de oxigênio no EOF⁽²⁾

Em sua concepção, cada equipamento tem uma finalidade durante o processo. As lanças supersônicas, devido a sua proximidade à superfície do banho, promovem grande agitação do banho e, junto com as ventaneiras, são as responsáveis em maximizar a taxa de descarburagem. Por outro lado, os injetores promovem a pós-combustão dos gases da descarburagem, acima da superfície do banho.

1.3 Ciclo operacional

Devido às particularidades do EOF, a sequência de operação do refino primário tem algumas similaridades com o forno elétrico, muito embora toda a energia do processo seja determinada pela carga metálica e oxigênio injetado. Junto com a fusão da sucata, tem-se o refino, através da oxidação dos elementos do banho e o vazamento de escória pela porta garante uma boa taxa de desfosforagem.

Fechamento da Bica de Vazamento: Injeção de granulado de refratário. O canal da bica fica 20 mm acima da soleira, para preservar o “pé líquido”.

Carregamento de Sucata: Realizado pela abertura dos garfos do pré-aquecedor.

Carregamento de Gusa: Basculamento na bica, através de ponte rolante. Os fundentes são adicionados simultaneamente, o que caracteriza o início do sopro.

Sopro: Em sequência a descarga da sucata, durante o carregamento do gusa, é iniciado o sopro pelas ventaneiras e injetores. Ao término do enforamento do gusa, são acionadas as lanças supersônicas.

Medição de T e C: Pela porta de escória durante o sopro com sistema robotizado.

Vazamento: Abertura do canal com vara de oxigênio.

No ciclo de uma corrida, o sopro é o que consome a maior parte do tempo, aproximadamente 80% no EOF e 60% nos outros processos BOF. Desta forma, a redução do tempo de sopro implica em aumento direto da produtividade.

O EOF apresenta um excelente desempenho operacional, com reduzidos tempos de carregamento e vazamento, porém com elevado tempo de sopro.

2 DESENVOLVIMENTO

O trabalho consistiu no desenvolvimento e implantação de modelos matemáticos de sopro objetivando atingir a temperatura e composição química programada para vazamento.

Inicialmente foi realizado um profundo trabalho de acompanhamento da operação para conhecimento do processo, dada a excelência e originalidade do forno EOF, que é diferente dos demais convertedores a oxigênio. A seguir, foram definidos padrões e práticas operacionais que garantissem a reprodutibilidade do processo e, finalmente, implantados os cálculos através de modelos matemáticos.

Em paralelo com as definições de padrões e práticas operacionais foi realizada uma mudança no sistema de injeção de oxigênio.

O sistema de equações dos modelos consideram todas as entradas metálicas com suas composições químicas e define a quantidade necessária de adição de energético ou refrigerante para atingir a temperatura e teor de carbono programado, além da quantidade de adição de cales conforme a basicidade e teor de MgO objetivado na escória.

Em cada etapa de cálculo feita pelo modelo, necessariamente, é preciso à confirmação do operador para dar sequência ao processo.

O modelo contempla, além do ritmo normal de operação, as etapas críticas, como após parada, partida de forno novo e partida após manutenção.

O sistema permite ao operador, de forma muito simples e imediata, a transferência para a operação em modo manual ou a sua interrupção, quando o mesmo achar necessário.

Toda a operação de sopro fica registrada em arquivo.

O sopro está interligado aos sistemas de bloqueios de intertravamento de emergência do forno, interrompendo sempre que necessário.

O sistema de modelo de sopro é compatível com o sistema supervisor existente no forno EOF.

2.1 Mudanças no sistema de injeção de oxigênio

O EOF foi concebido para que a descarburização fosse realizada através da difusão do carbono até a superfície do banho, o que retarda o processamento.

Os injetores atmosféricos têm pouca influência sobre o tempo de mistura, sendo responsáveis pela obtenção de energia devido a pós-combustão, com prejuízo na taxa de descarburização do banho. As lanças supersônicas e ventaneiras é que são responsáveis pela agitação e homogeneização do banho.

Em maio de 2018, os 4 injetores foram substituídos por 2 lanças supersônicas nas posições mais próximas a bica de vazamento (figura 2), com o objetivo de aumentar a taxa de descarburização e, conseqüentemente, reduzir o consumo de oxigênio e o tempo de sopro. As 2 lanças supersônicas existentes também foram substituídas por outras mais modernas e eficientes.⁽²⁾

Com a utilização desta forma mais efetiva de penetração do jato de oxigênio no banho, foi possível reduzir o tempo de processo, tornando o EOF um dos fornos com maior produtividade entre os reatores para produção de aço.

Com essas alterações, houve também ganhos no consumo de fundentes e oxigênio.

2.2 Modelos matemáticos

Para a automação do processo foram elaborados e implantados 10 modelos matemáticos, sintetizados na tabela 2.

Tabela 2: Modelos matemáticos do EOF

| Modelo | Descrição |
|-------------------------------------|---|
| Carbono Visado no Fim de Sopro | Definido em função do teor de carbono final do aço e os pesos previstos das ligas que contem carbono. |
| Temperatura Visada no Fim de Sopro | Definida a partir da linha líquidus do aço, acrescido do superaquecimento do lingotamento contínuo e perdas térmicas no manuseio e transporte da panela de aço. |
| Fundentes | Cálculo das quantidades dos materiais para formação de escória com basicidade e MgO pré calculados. |
| Controle Estático | Cálculo do peso de material exotérmico ou refrigerante e volume de oxigênio de sopro. |
| Parâmetros do Controle Estático | Cálculo dos parâmetros reais da corrida atual e os visados para as próximas corridas. |
| Controle Dinâmico | Cálculo do volume de oxigênio e peso de material refrigerante ou exotérmico em função da medição de carbono e temperatura durante o sopro. |
| Acompanhamento do Controle Dinâmico | Prevê o teor de carbono e a temperatura em função do volume de oxigênio soprado. |
| Ferro Ligas Previsional | Prevê, no início do sopro, os pesos das ligas para adição na panela durante o vazamento. |
| Ferro Ligas Final | Calcula os pesos das ligas para adição na panela durante o vazamento |
| Padrão de Sopro | Define as vazões de oxigênio e o parcelamento das adições durante o sopro. |

A seguir são apresentadas as ideias básicas de cada modelo.

2.2.1 Modelos de carbono e temperatura de fim de sopro

Na execução dos modelos, inicialmente são definidos o carbono e temperatura visados no fim de sopro (CFSV e TFSV), através dos modelos específicos. Os valores visados seriam aqueles em que a adição de ligas seria a mais econômica e evitaria aquecimento do aço na panela.

A definição da temperatura é realizada pelo cálculo da temperatura de lingotamento (equação 1), que é a temperatura *liquidus* somada de um superaquecimento DT. Pelo conhecimento das perdas térmicas é definida a temperatura de liberação da panela para o lingotamento (equação 2) e, finalmente, com as estimativas das quedas de temperatura durante o vazamento e tratamento na panela, é estabelecida a temperatura visada no fim de sopro (equação 3).

$$T \text{ lingotamento} = T \text{ liquidus} + DT \quad (1)$$

$$T \text{ liberação} = T_{PAN} = T \text{ lingotamento} + \Delta T_1 \quad (2)$$

$$TFSV = T_{PAN} + \Delta T_2 \quad (3)$$

ΔT_1 : função do carbono do aço.

ΔT_2 : queda de temperatura durante o vazamento.

Em relação ao carbono, pela análise das ligas verificou-se que apenas as de manganês e cromo possuem carbono suficiente que justifiquem o seu incremento. Assim, primeiro é calculado a variação de carbono devido às ligas de cromo e manganês (equação 4), para em seguida definir o carbono de fim de sopro visado (equação 5).

$$\Delta C = (\Delta C_{Mn} * A) + (\Delta C_{Cr} * B) \quad (4)$$

$$CFSV = C \text{ aço} - \Delta C \quad (5)$$

A e B são constantes em função das ligas.

2.2.2 Modelo de fundentes

O cálculo de fundentes visa um mínimo volume de escória para obter o teor de fósforo e garantir o teor de MgO na escória. Primeiro o modelo calcula o silício equivalente (equação 6), que é o silício total carregado, define a basicidade binária CaO/SiO₂ (equação 7) em função dos fatores que afetam a desfosforação, como: teor de fósforo do gusa, temperatura de fim de sopro, volume de escória, teor de fósforo visado no fim de sopro e nível de oxidação, para finalmente calcular a quantidade necessária de CaO (equação 8) e, em função do MgO visado, os pesos de cal calcítica e cal dolomítica correspondentes.

$$Si_{eq} = Si_{carga\ metálica} + Si_{adicionado} + Si_{fundentes} \quad (6)$$

$$B = B_0 + DB_1 + DB_2 + DB_3 \quad (7)$$

B₀: basicidade calculada em função do silício equivalente

DB₁: variação devido à temperatura fim de sopro

DB₂: variação devido ao carbono e fósforo visado no fim de sopro

DB₃: variação devido ao fósforo do gusa

$$PCaO = 2,14 * B * Si_{eq} \quad (8)$$

2.2.3 Modelos de controle estático

O controle estático tem por finalidade o cálculo do volume de oxigênio e do peso de material refrigerante ou exotérmico, a partir dos dados da corrida, antes do sopro.

É executado na sequência através de um balanço térmico dos materiais carregados utilizando uma unidade de referência UT – Unidade Térmica. O total calculado é comparado com um valor visado (equação 9) e a diferença, negativa ou positiva, define a necessidade de material exotérmico ou refrigerante.

Dentro deste mesmo modelo, o volume de oxigênio para o sopro (equação 10) utiliza também uma unidade de referência UO – Unidade de Oxigênio, que, da mesma forma, compara o total calculado com um valor visado.

O somatório das UT's calculadas é subtraído da UT visada (UT_{vis}):

$$\Delta UT = UT_{vis} - (UT_{tp} + UT_{Sig} + UT_{Tg} + UT_{mat} + UT_{Cfs} + UT_{Tfs}) \quad (9)$$

Delta UT < 0 -----> Falta calor e precisa de material exotérmico

Delta UT > 0 -----> Sobra calor e precisa de material refrigerante

O somatório dos UO's calculados é subtraído do UO visado (UO_{vis}).

$$VO = (UO_{vis} - (UO_{tp} + UO_{Sig} + UO_{Cfs} + UO_{mat})) \quad (10)$$

UT_{tp} e UO_{tp}: tempo de parada entre corridas (resfriamento do forno)

UT_{Sig}, UO_{Sig} e UT_{Tg}: silício e temperatura do gusa

UT_{mat} e UO_{mat}: materiais (sucatas e fundentes)

UT_{Cfs}, UO_{Cfs} e UT_{Tfs}: carbono e temperatura visados no fim de sopro

Após o sopro são calculados os valores reais das unidades de referência do balanço térmico e oxigênio, com os dados efetivamente obtidos. Esses valores reais são divididos em grupos por carbono de fim de sopro e peso de escória e, as médias dos valores das últimas corridas de um grupo, são os visados para as corridas seguintes deste grupo.

2.2.4 Modelos de controle dinâmico

O modelo de controle dinâmico é executado a cada medição de carbono e temperatura durante o sopro, recalculando o volume de oxigênio de sopro e o peso de material refrigerante ou exotérmico, através da velocidade de descarburização (equação 11), que permite calcular o teor de carbono dinâmico (equação 12) para

uma determinada variação de oxigênio (DeltaO2). Esta variação de oxigênio é somada ao volume de oxigênio soprado (equação 13) de forma interativa até atingir o teor de carbono visado no fim de sopro, quando então é calculada a elevação da temperatura (equação 14).

$$VDesC = CoefC1 + CoefC2 * Ln(\%C) \quad (11)$$

$$CDin = C \text{ inicial} - ((VDesC * DeltaO2) / (Carga \text{ metálica})) \quad (12)$$

$$VO = VO + DeltaO2 \quad (13)$$

$$ElevT = CoefT1 * ((VO - Omedição) / (Carga \text{ metálica})) + CoefT2 \quad (14)$$

CoefC1, CoefC2, CoefT1 e CoefT2: coeficientes determinados experimentalmente.

Omedição: oxigênio soprado quando da medição de carbono e temperatura.

Com os mesmos dados das medições de carbono e temperatura, o modelo de acompanhamento do controle dinâmico prevê o carbono e temperatura em um determinado intervalo de volume de oxigênio soprado.

2.2.5 Modelos de ferro ligas

A determinação dos pesos das ligas, para ajuste da composição química na panela, é feito previamente no início do sopro para antecipação das pesagens e, após o sopro, um cálculo final.

A equação básica de cálculo (equação 15) é definida em função da variação do elemento químico desejado, teor do elemento na liga e rendimento.

$$\text{Peso liga} = (\text{Variação do elemento}) / ((\text{Teor na liga}) * (\text{Rendimento})) \quad (15)$$

2.2.6 Modelo de padrão de sopro

O modelo de padrão de sopro define o momento das adições e as vazões de oxigênio de cada equipamento e as respectivas alterações durante o sopro, que são todas realizadas de forma automática, a partir da confirmação do operador. O sistema é baseado em vários padrões, selecionados em função do gusa carregado e aço visado no fim de sopro.

2.3 Resultados

A automação do processo promoveu uma estabilidade operacional, que aliada a alteração no sistema de sopro de oxigênio, mostrou imediatos ganhos de produtividade, pela redução nos tempo de sopro (“power on”) e corrida (“tap to tap”), como mostra a figura 3.

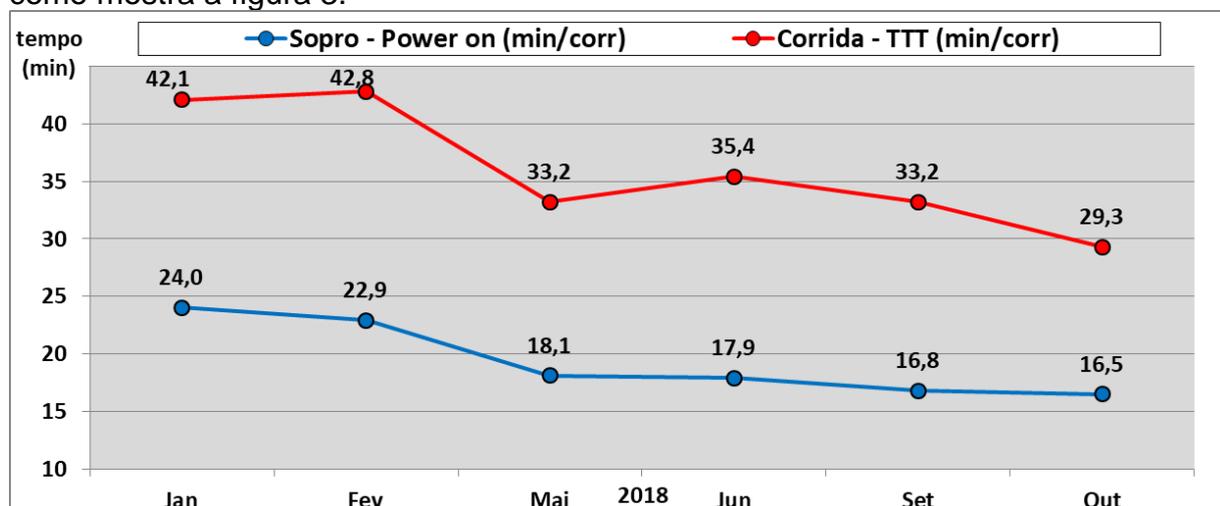


Figura 3: Tempos operacionais

Da mesma forma, o consumo de oxigênio foi reduzido para valores próximos aos obtidos em convertedores LD (figura4).

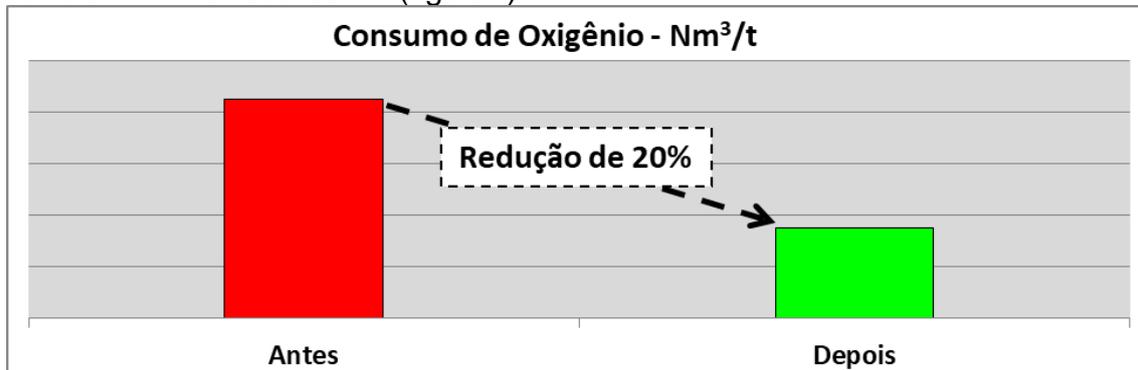


Figura 4: Consumo de oxigênio

Essas mudanças acarretaram também reduções expressivas nos consumos dos materiais adicionados no forno durante o sopro, como pode ser visto na figura 5.

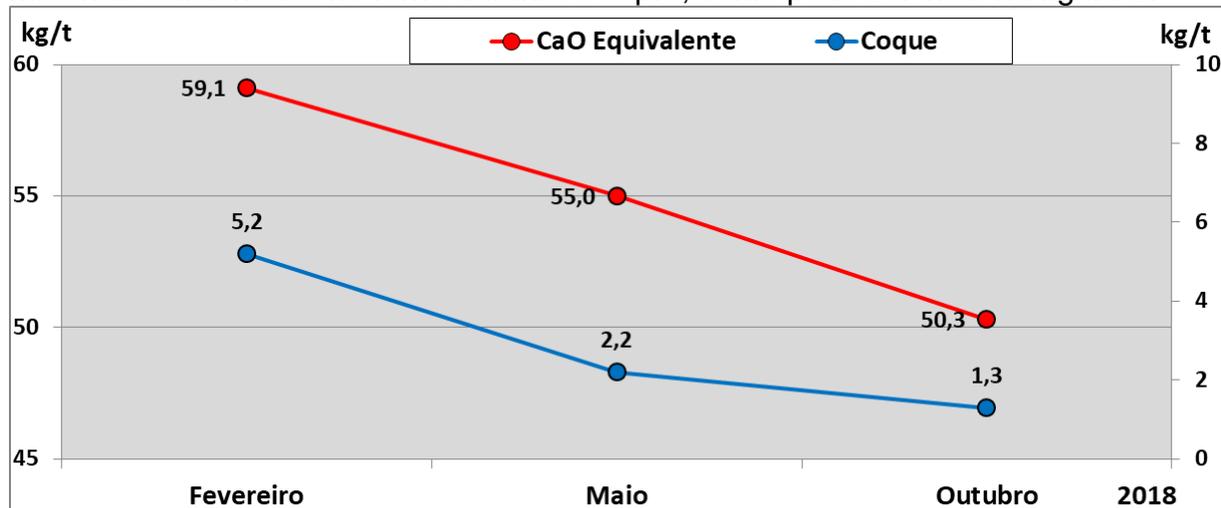


Figura 5: Redução no consumo de materiais adicionados durante o sopro

Estes resultados são atribuídos principalmente a maior estabilidade operacional e a previsibilidade dos modelos, que conseguem definir com muita propriedade as quantidades de materiais e o volume de oxigênio a ser soprado.

Os resultados do modelo deram também maior confiança aos operados que passaram a realizar menos medições de carbono e temperatura durante o sopro, passando de uma média de 2,8 para 2,3 medições por corrida, com economia média de 1 sensor a cada 2 corridas.

A temperatura visada para vazamento da corrida situa-se em torno de 1660°C e na figura 6 é mostrada a distribuição dos valores obtidos na última medição, antes do vazamento. A concentração na faixa de 1620°C a 1700°C subiu de 81,8% para 85,6%, com a temperatura média caindo de 1672°C para 1665°C.

Mesmo com menor temperatura média de vazamento, houve melhora no acerto de temperatura e composição química do aço na panela, com redução no tempo de tratamento no forno panela.

Adicionalmente, houve também redução no teor médio do fósforo do aço na panela, como mostra a tabela 3.

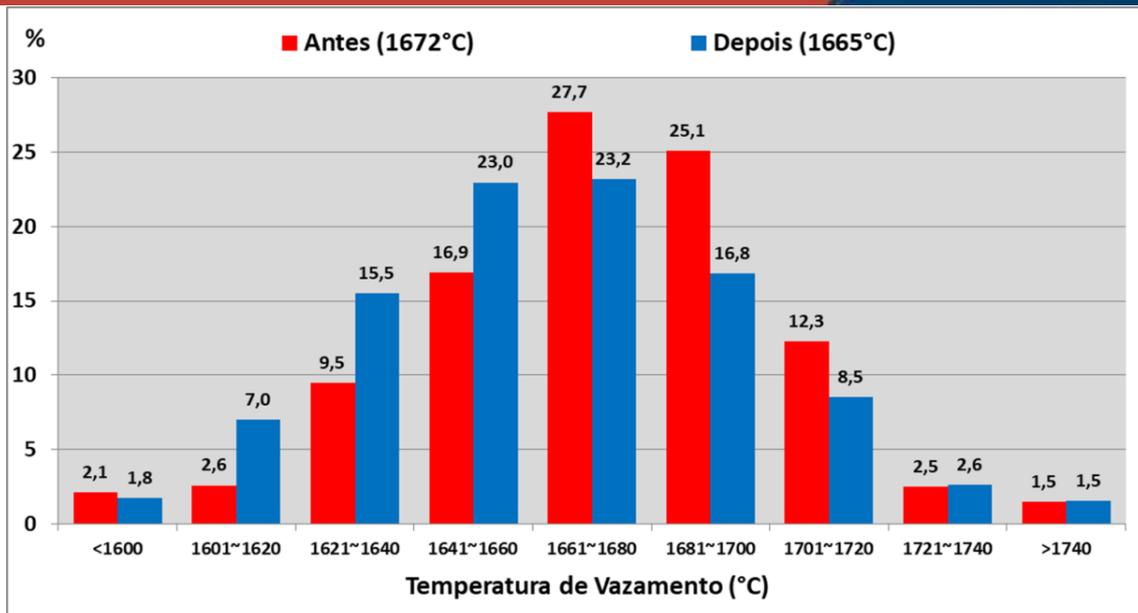


Figura 6: Temperatura do aço antes do vazamento

Tabela 3: Teor de fósforo do aço na panela antes do tratamento no forno panela

| P (%) | < 0,020 | 0,021 a 0,030 | > 0,030 |
|--------|---------|---------------|---------|
| Antes | 36,9 | 47,5 | 15,5 |
| Depois | 47,7 | 40,0 | 12,3 |

Deve-se destacar que o teor médio de carbono no fim de sopro é da ordem de 0,15%, o que demonstra uma necessidade de um sopro oxidante para evitar elevados teores de fósforo. Mesmo assim, o FeO da escória apresentou uma pequena redução, que não comprometeu a desfosforação. (figura 7)

O teor de MgO na escória é um fator determinante da vida do revestimento refratário do forno. Porém valores muito elevados prejudicam a formação de escória. Após a padronização e automação, os teores obtidos na escória, que eram muito dispersos, ficaram mais concentrados em relação ao visado, com a distribuição dos valores na faixa de 7% a 11% aumentando de 52% para 72%. (figura 7)

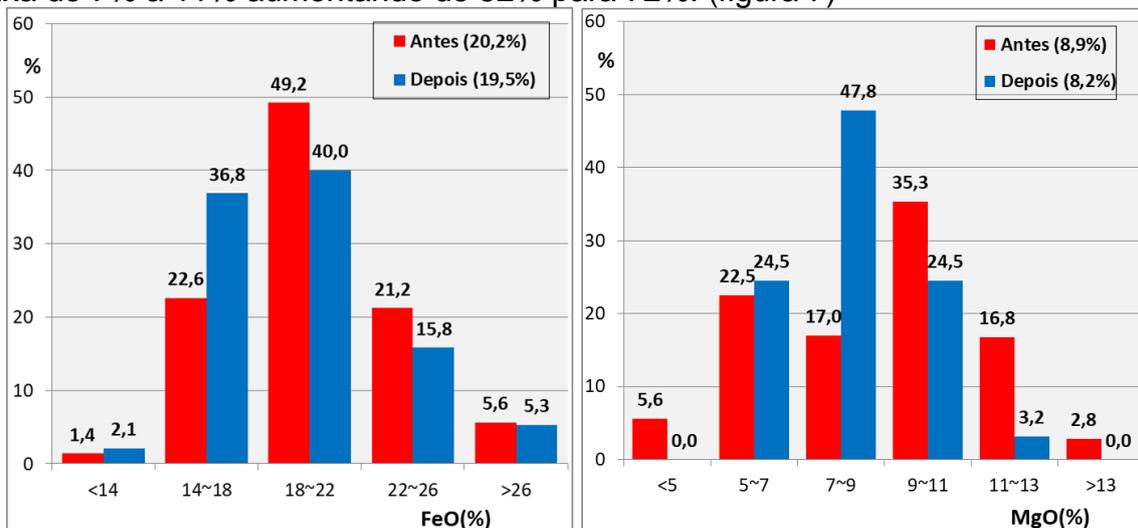


Figura 7: FeO e MgO da escória de fim de sopro

Como consequência deste fato, aliado a redução no tempo de residência do metal no forno, menor temperatura de fim de sopro e outros, o desempenho do revestimento refratário do forno também melhorou, com aumento médio da vida do revestimento passando de 1185 corridas para 1306, com redução no consumo de massa refratária para reparo de 4,2 kg/t para 2,6 kg/t (figura 8).

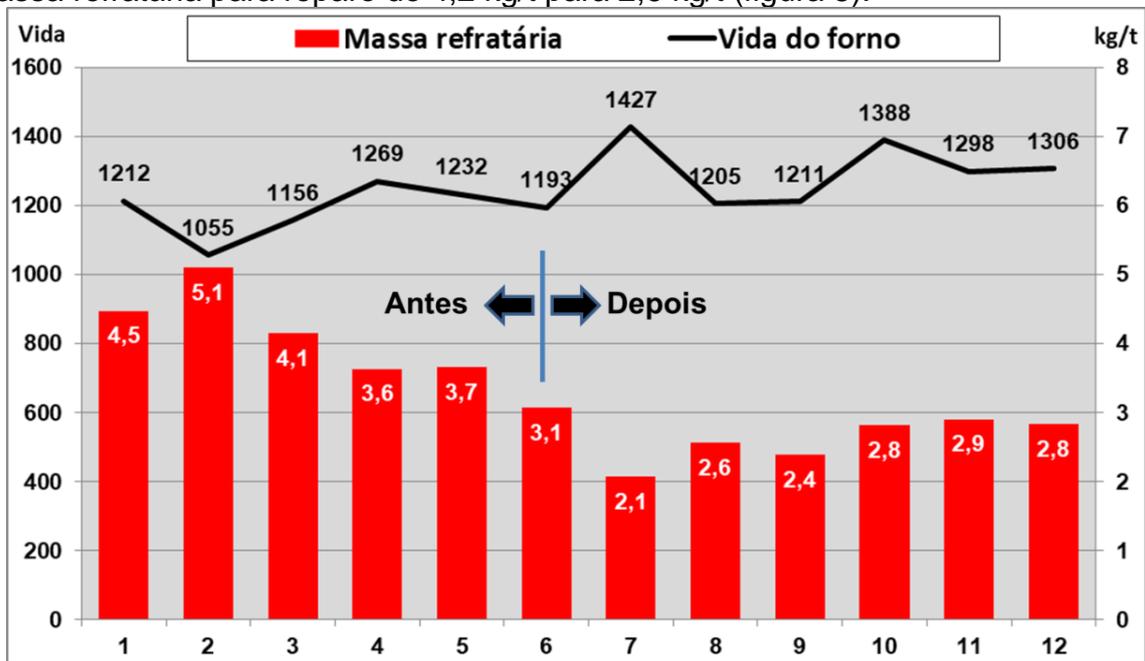


Figura 8: Desempenho do revestimento refratário do convertedor

O rendimento metálico também apresentou uma melhora, com menor perda de ferro para a escória, como pode ser visto na figura 9.

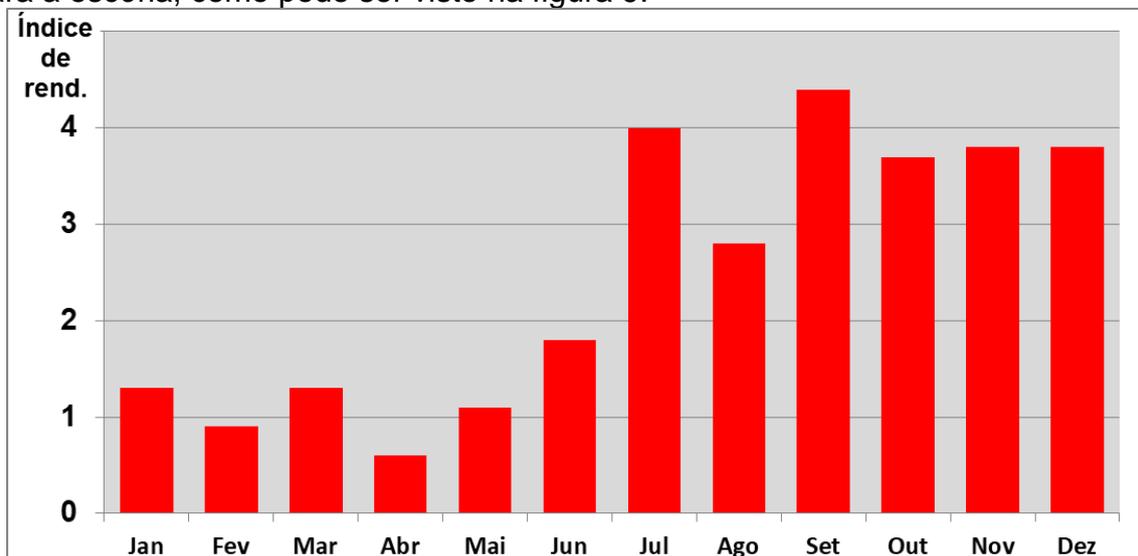


Figura 9: Ganho no rendimento metálico do convertedor (2018)

3 IMPACTOS AMBIENTAIS PERCEBIDOS

A sustentabilidade ambiental é considerada um dos desafios para a área de Melhorias e Inovações. Os projetos devem ser concebidos de forma a garantir a melhoria contínua, mitigando os impactos ambientais oriundos dos processos produtivos.

A implantação deste projeto traz contribuições significativas ao Meio Ambiente nos seguintes aspectos:

- Redução significativa na geração e emissão de gás que impacta no efeito estufa.
- Redução de ferro na escória impacta diretamente no volume de escória que foi reduzido aproximadamente em 35% de geração final de resíduos (coprodutos).
- O menor consumo de refratário, aumentando a vida do refratário em aproximadamente em 33% reforça o conceito a economia circular otimizando os recursos ao máximo.

4 ASPECTOS DE SEGURANÇA PERCEBIDOS

A valorização do ser humano no ambiente do trabalho é um dos itens que dão suporte ao sucesso de uma organização e que norteia e prioriza investimentos para busca de um ambiente cada vez mais seguro ao convívio humano e geração de valor.

O significativo sucesso deste projeto assegura além da melhoria contínua do processo através da estabilidade alcançada, redução de falhas de processo, redução das intervenções humanas, exposições de pessoas em atividades fora de rotina. De forma geral, modificar o processo e assegurar práticas cada vez mais seguras para o convívio humano.

5 CONCLUSÃO

A eficiência de uma Aciaria pode ser avaliada pela capacidade produtiva, rendimento e acerto de composição química e temperatura, que afetam diretamente o custo de produção. Um sistema de controle de processo e padrões com bom desempenho conduz a uma operação estável com resultados reprodutivos, mesmo com grande variação das matérias primas.

As mudanças no sistema de injeção de oxigênio resultaram em uma melhora no processo de sopro, intensificada pela padronização e automação do processo, com redução no tempo de sopro e, conseqüentemente, no tempo de corrida.

Após a implantação dos modelos matemáticos houve redução no consumo de fundentes, menor FeO e estabilidade no MgO da escória, temperaturas de fim de sopro mais baixas com menores teores de fósforo no aço.

Em consonância com estes resultados houve melhora no desempenho do revestimento refratário do forno e aumento no rendimento metálico.

Agradecimentos

À Primetals pela programação dos modelos matemáticos.

REFERÊNCIAS

- 1 Gerda: Introdução ao Processo EOF de Fabricação de Aço. Divinópolis, MG, 2016.
- 2 Maia BT. Modelamento Físico e Matemático do Escoamento de Fluidos nos Processos BOF e EOF [Tese de Doutorado]. Belo Horizonte: UFMG, 2013.
- 3 Barão CD, Silva CA, Maia BT, Athayde Junior JDG, Martins AAR, Auad MV, *et al.* Curso de Aciaria a Oxigênio. São Paulo: ABM; 2016.
- 4 Barão CD. Treinamento Técnico de Fabricação de Aço em Aciaria a Oxigênio. Divinópolis, MG, 2018.
- 5 Maia BT, Hopperdizel PRO, Martins MF, Pereira LM, Silva GV e Zahner SL. EOF Developments Stage 1- Supersonic Fixed Injectors. 4° ABM Week e 50° Seminário de Aciaria, São Paulo, 2019.