

RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROTECT BLOCK E FLEXOX INJECTOR EM UM FEA DE 140 TON *

*Thiago Pinto Wandekoken¹
Paulo Roberto Hopperdize²
Marcelo Souza Lima Guerra³
Fabrício Silveira Garajau⁴*

Abstract

A steel company with a 140 t Electric Arc Furnace (FEA) focused on to increase efficiency and productivity of the steelmaking process, planned to change the furnace depth, increasing the volume of slag contained inside of the furnace. Basically, this project consisted in replacing the lower EAF shell with a deeper one, aiming at a significant increase of the slag layer, which promotes the reduction of the electric energy consumption due to the arc protection of the electrodes. With this increase in depth, it was necessary to rearrange the equipment that compose the EAF chemical package, composed by copper blocks, burners and injectors of oxygen and carbon, which needs to be resized, as well as repositioning these equipment in the furnace, to achieve energy efficiency goal. Searching for the best technology currently available in the market, they chose the chemical package developed by Lumar to EAF, composed by Protect Block, FlexOx and Power Carbon (to the needy carburization points) and the Easy Block with FlexOx Short. In this work will be presented the chemical package equipments implemented in this EAF's revamp, as well as the criteria and engineering solutions used, besides the operational results obtained during startup. The main results were the reduction of the consumption of oxygen and fuel gas, improvement of the formation of foaming slag and reduction of energy consumption of the furnace.

Keywords: (EAF, FlexOx, Protect Block, Power Carbon, oxygen efficiency, energy efficiency).

- ¹ *Sócio da ABM; Mestre e Engenheiro de Aplicações da Lumar Metals, Serra/ES, Brasil*
- ² *Sócio da ABM; Eng. Metalúrgico e Diretor Técnico da Lumar Metals. Porto Alegre/RS, Brasil;*
- ³ *Sócio da ABM; Mestre e Eng. Mecânico/Pesquisador da Lumar Metals. Ipatinga/MG, Brasil;*
- ⁴ *Sócio da ABM; Mestre e Eng. Mecânico/Pesquisador da Lumar Metals. Ipatinga/MG, Brasil;*

1 INTRODUCTION

De acordo com estudo divulgado no ano de 2010, cerca de 1/3 do aço produzido no mundo era feito através dos Fornos Elétricos a Arco (FEA) e a participação das aciarias elétricas na produção mundial de aço seguia ritmo ascendente ⁽¹⁾. Entretanto, o aumento de disponibilidade de aço no mercado mundial, aliado à diminuição da demanda deste produto e outros fatores econômicos contribuíram nos últimos anos para a queda (em termos percentuais) da produção de aço através dos FEA. Contudo, outro estudo, mais recente da *International Energy Agency* ⁽²⁾ indica provável retomada da fabricação de aço através dos FEA, uma vez que são previstos o aumento de disponibilidade de sucata, principalmente nos países emergentes, e o aumento da regulação e controle sobre as emissões de CO₂. Um cenário provável é que no ano de 2050 as aciarias elétricas produzam cerca de 50% do aço mundial.

Desta forma, é cada vez mais necessário o desenvolvimento de tecnologias e processos que tornem a produção de aço pelo FEA mais competitiva, seja através da redução dos custos operacionais ou pelo aumento de produtividade. Neste contexto, uma das formas mais rápidas e economicamente viáveis de se atingir tais objetivos é através do incremento da participação da energia química no processo produtivo do FEA. A quantidade total de energia química utilizada no FEA, bem como o seu rendimento depende de diversos fatores, tais como, capacidade, projeto, equipamentos periféricos e auxiliares. Nos FEA atuais a participação da energia química no processo de fabricação de aço varia entre 30 e 60% da energia total utilizada no FEA, o que significa aproximadamente 50 a 300 kwh/t de aço vazado ⁽³⁾.

De acordo com Toulouevski e Zinurov ⁽⁴⁾, até a década de 80 os fornos elétricos a arco que mais utilizavam energia química na fabricação do aço apresentavam consumo específico de oxigênio na ordem de 10 a 15 Nm³ de O₂ por tonelada de aço produzido. Entretanto, em fornos atuais, o consumo médio de oxigênio é aproximadamente de 40 Nm³ de O₂ por tonelada de aço produzido. Em casos específicos, onde há o intenso uso de O₂ para fins de pós-combustão, o consumo pode chegar a 70 Nm³ por tonelada de aço produzido. Segundo Jones ⁽⁵⁾, os principais avanços de produtividade alcançados ao longo dos últimos anos se devem principalmente ao avanço das práticas relacionadas ao uso do oxigênio, pois em função do incremento do uso do oxigênio no FEA o tempo para elaboração de uma corrida que anteriormente durava entre 3,0 e 8,0 horas, nos dias atuais não ultrapassam 1,0 hora.

A escória espumante é outra prática que contribui para a eficiência energética do FEA. Com a prática de escória espumante nos FEA é possível criar uma escória que proteja a arco elétrico dos eletrodos, aumentando assim a eficiência da transferência energética dos eletrodos para o banho, evitando que parte desta energia seja perdida através da irradiação para os painéis refrigerados ⁽⁶⁾. A Figura 1 destaca a importância da escória espumante na eficiência de transferência de calor do arco elétrico para o banho.

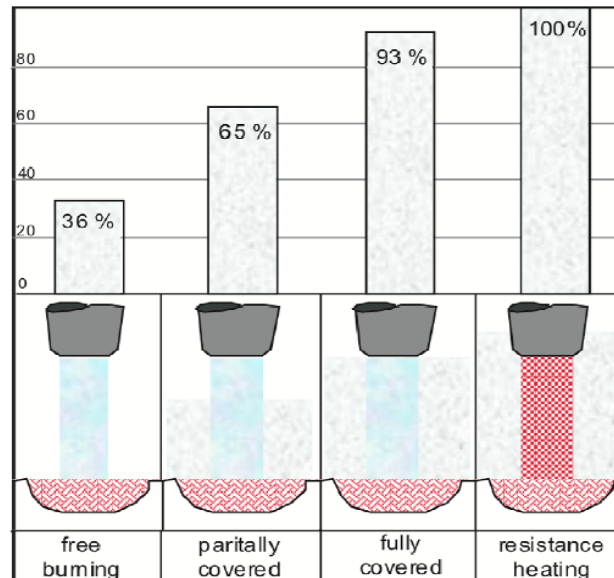


Figura 1: Representação esquemática do aproveitamento energético do arco elétrico em função da cobertura da escória espumante.

De acordo com Kwong e Bennet ⁽⁷⁾ a prática de escória espumante também protege o revestimento refratário das paredes do forno da alta intensidade do calor gerado pela irradiação direta proveniente do arco elétrico, além disso, esta prática permite a operação do forno com arcos mais longos, melhorando a produtividade e a eficiência energética dos equipamentos. A prática de escória espumante pode reduzir cerca de 10 a 30% o consumo de energia elétrica no FEA e cerca de 25 a 63% do consumo de refratários.

Partindo deste princípio, uma siderúrgica com um FEA de 140 t definiu pela alteração da carcaça inferior do FEA (concha) por outra com maior volume interno, em função do aumento de sua profundidade, para aumentar a camada de escória no interior do forno. Porém para se alcançar os objetivos de eficiência energéticas deste projeto, faz-se necessário a reengenharia do pacote químico do FEA, o qual se realizou a reavaliação da distribuição dos injetores, vazão de injeção de oxigênio, potência dos queimadores e proximidade destes equipamentos ao banho metálico, em função da nova altura de trabalho.

No presente trabalho serão apresentados os equipamentos e conceitos utilizados para o redimensionamento do sistema de injeção, bem como alguns resultados obtidos a partir da operação do forno com esta nova configuração.

2 MATERIALS AND METHODS

Dada às particularidades de todos os FEA, bem como os objetivos de produtividade específicos, os equipamentos precisam ter sua geometria customizada e os injetores dimensionados conforme disponibilidade de vazão e metas operacionais. Esta singularidade em cada aplicação caracteriza este conjunto de atividades como um projeto, que segundo o PMBOK ⁽⁸⁾ se configura por “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”. Em projetos que envolvem desenvolvimento de produto, de uma forma geral, se resume basicamente em um conjunto de atividades necessárias para se buscar, a partir das necessidades

específicas do cliente, das possibilidades e restrições tecnológicas, considerando a estratégia de cada empresa, para se chegar às especificações de projeto e de sua viabilidade de aplicação. O desenvolvimento de produtos também envolve seu acompanhamento durante a instalação, bem como as validações dos conceitos utilizados no projeto e identificação de necessidade de melhorias e mudanças. A metodologia utilizada para a especificação, dimensionamento, fabricação e instalação do pacote químico para o repotenciamento do FEA estudado no presente trabalho, se baseiam no modelo de divisão de fases de gestão de projetos estabelecidos por Rosenfeld ⁽⁹⁾, conforme apresentados na Figura 2.



Figura 2: Fases no processo de desenvolvimento do produto.

Esta modelo divide o projeto em seis fases distintas com objetivos e resultados específicos ao final de cada fase:

- **Pré-projeto:** etapa do projeto de análise de viabilidade do projeto, agrupamento das informações pertinentes, alinhamento dos objetivos, além de identificação dos requisitos, premissas e restrições.
- **Projeto Conceitual:** etapa que objetiva a validação do conceito do projeto a ser desenvolvido, onde são propostas soluções e verificada sua viabilidade junto às partes interessadas.
- **Projeto Básico:** etapa do projeto com objetivo de realizar a engenharia de dimensionamento dos equipamentos em conformidade com o projeto conceitual.
- **Projeto Detalhado:** etapa de projeto com o objetivo de elaboração do desenho detalhado, com todas as informações técnicas que permitam a fabricação do equipamento, definição e elaboração do planejamento das atividades de fabricação e definição de escopo do produto.
- **Fabricação:** etapa de fabricação do produto, conforme especificações do projeto detalhado, sendo realizadas inspeções dimensionais e ensaios não destrutivos para garantir a qualidade do produto, e envio do equipamento ao cliente;
- **Testes operacionais:** etapa de acompanhamento do *startup* do produto no cliente, ajustes operacionais e identificação de necessidade de melhorias ou alterações no produto desenvolvido.

No presente capítulo serão apresentadas as soluções propostas nas etapas do pré-projeto, projeto conceitual, projeto básico, projeto detalhado e fabricação. A etapa de testes operacionais serão apresentados no capítulo de resultados, juntamente com o comparativo de performance do FEA ao longo dos testes.

2.1 Pré-Projeto

Durante a etapa de pré-projeto, pode-se reunir as informações necessárias para a especificação dos equipamentos nas fases posteriores. Uma das informações mais importantes se refere ao aumento de profundidade da soleira do forno, que inicialmente foi desenvolvida com o objetivo de manter o mesmo volume de aço vazado, porém com elevação da quantidade de escória para o dobro da camada do projeto original. A definição da nova soleira está esquematicamente apresentada na Figura 4, onde se observa que o aumento da profundidade do forno foi de 250 mm.

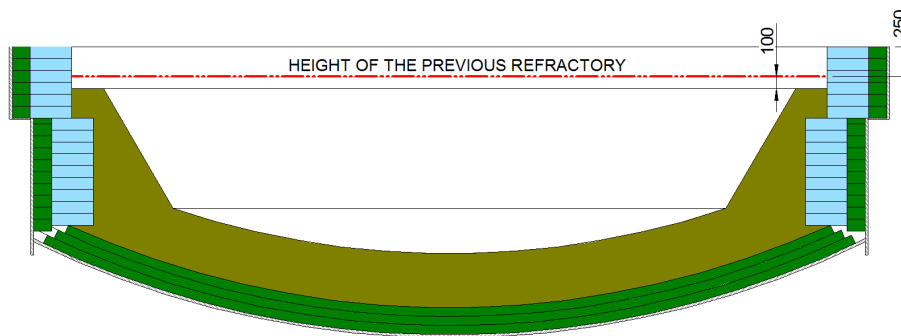


Figura 3: Desenho esquemático do aumento de profundidade da carcaça do forno.

2.2 Projeto Conceitual

Para atender os requisitos especificados para este projeto, podem-se especificar os conjuntos de tecnologia Lumar que sejam capazes de atender a demanda do repotenciamento do forno. A linha de tecnologia Lumar selecionada para ser instalada no forno está apresentada na Figura 3.

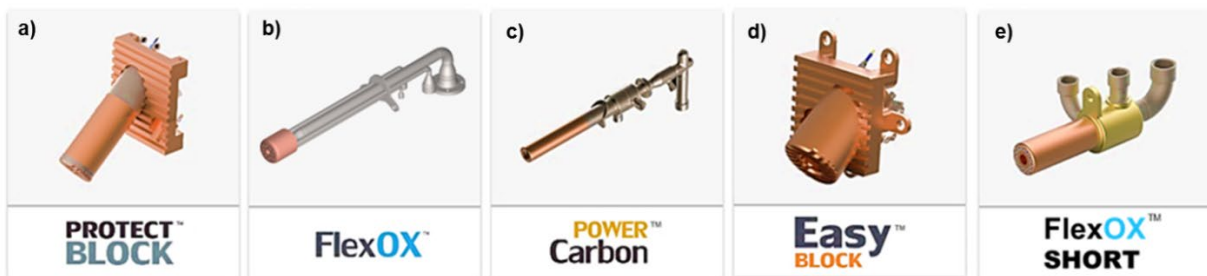


Figura 3: Tecnologia Lumar para FEA: a) bloco avançado para montagem dos injetores; b) injetor de oxigênio; c) injetor de carbono; d) bloco para montagem de queimador/injetor; e) queimador.

Conceitualmente este projeto deve favorecer a formação da camada de escória, fusão da sucata e descarburização nos pontos de injeção. Os equipamentos apresentados na Figura 3 apresentam características específicas, quando comparados a outros concorrentes, que são fundamentais para se alcançar estes objetivos, conforme apresentado abaixo:

- **Conjunto Protect Block:** o conjunto Protect Block é formado por uma moldura retangular fixada no painel, denominada Frame, e um bloco circular avançado para a montagem do injetor de oxigênio, denominado Protect Block.

Estes equipamentos são dimensionados para suportar a distancia ideal do injetor no banho, devido sua robustez estrutural e alta eficiência de refrigeração.

- **FlexOx:** injetor de oxigênio de com alta eficiência de refrigeração e capacidade nominal de vazão de 3.000 Nm³/h, podendo trabalha como módulo queimador de até 5MV, além de apresentar grande facilidade ergonômica para manutenção, devido baixo peso do equipamento (aproximadamente 25kg).
- **Power Carbon:** injetor de carbono refrigerado, que possui tubulação consumível com tecnologia para aumento na vida do consumível e aceleração das partículas de carbono, capaz de elevar a velocidade de injeção das partículas de carbono e promover melhor espumação da escória e elevando o rendimento do particulado injetado.
- **Easy Block:** bloco de cobre com elevada eficiência de refrigeração e que trabalha mais afastado do banho metálico em relação ao Protect Block, com função de suporte para instalação do FlexOx Short.
- **FlexOX Short:** é um injetor/queimador de alta potencia o qual é montado no Easy Block com objetivo principal para fusão da sucata estabelecida na região em que é instalado no FEA.

2.3 Projeto Básico

De acordo com Maia *et al* ⁽¹⁰⁾, a espessura da camada de escória possui grande influência na interação entre o jato de oxigênio do injetor e o banho metálico, reduzindo a penetração do jato à medida que a espessura da camada de escória aumenta. Quanto maior a camada de escória, maior a resistência à penetração do jato de oxigênio o qual possui função principal de oxidação do banho metálico, devido ao aumento da tensão superficial. Em função disto, os injetores devem ser deslocados para uma posição ótima, que garanta a mesma eficiência de penetração, tanto do oxigênio, quanto do carbono injetado no processo. Este estudo pode ser realizado, conforma apresentado na Figura 5.

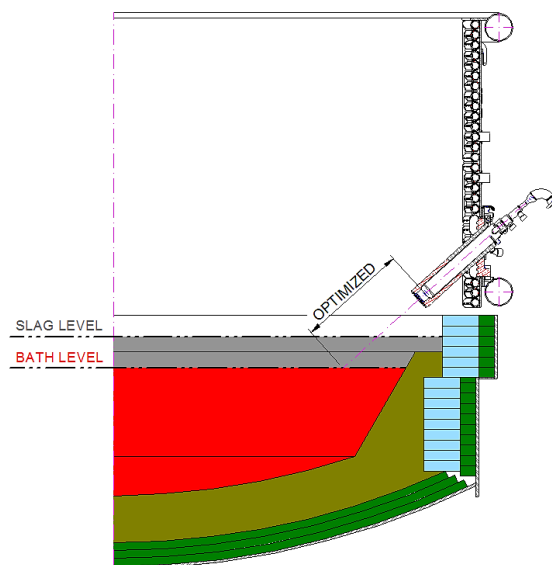


Figura 5: Otimização da distancia do injetor em relação ao banho.

Após a definição da distância ótima dos injetores, pode-se realizar a especificação da quantidade de pontos de injeção, vazão de oxigênio e carbono, além da potencia dos queimadores. Um resumo da configuração final do pacote químico especificado está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Especificação dos equipamentos selecionados.

Equipamento	Quantidade no FEA	Vazão de Injeção	Potência do Queimador
Protect Block	3	-	-
FlexOX	4	2400 Nm ³ /h	5 MW
Power Carbon	3	30 kg/min.	-
Easy Block	2	-	-
FlexOX Short	2	-	4 MW

As distribuições dos equipamentos no forno estão apresentadas na Figura 6, onde se observa que os injetores estão posicionados estrategicamente nas regiões de menor participação do arco elétrico, além de se observar que não estejam alinhados à base do eletrodo.

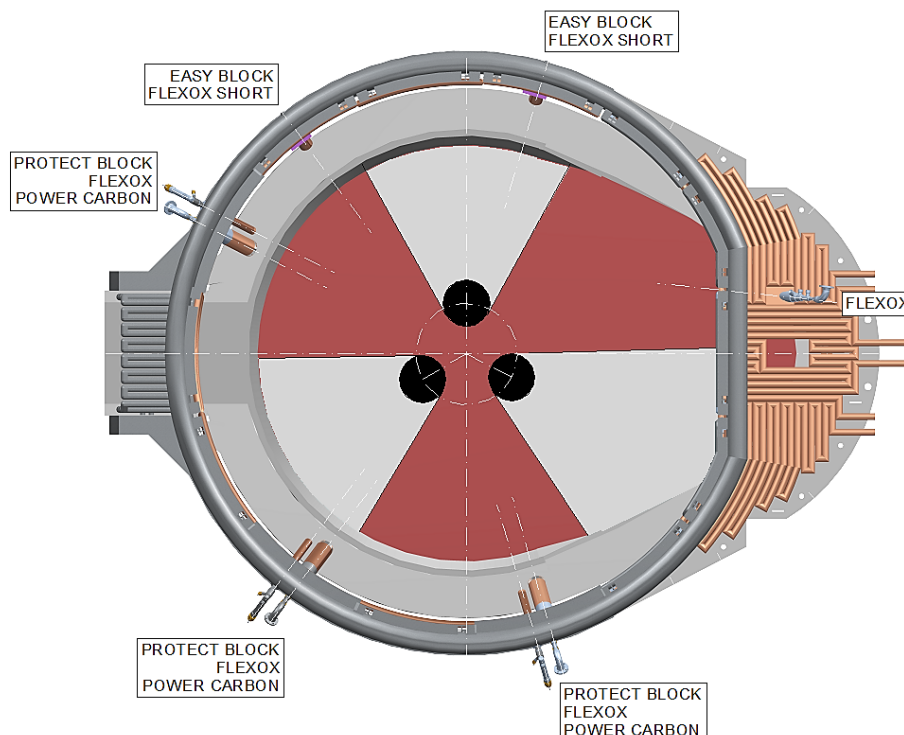


Figura 6: Disposição dos injetores instalados no FEA de 140 t.

2.4 Projeto Detalhado e Fabricação

Com as definições dimensionais e operacionais, os equipamentos inicia-se a etapa de desenho detalhado, partindo da elaboração do desenho em 3D para possibilitar a verificação de possíveis interferências, e adequar o posicionamento as conexões,

para condições mais propícias para a montagem das mangueiras de interligação, conforme apresentado na Figura 7. Esta verificação se faz pertinente, visto a grande quantidade de equipamentos e mangueiras nas proximidades dos equipamentos.

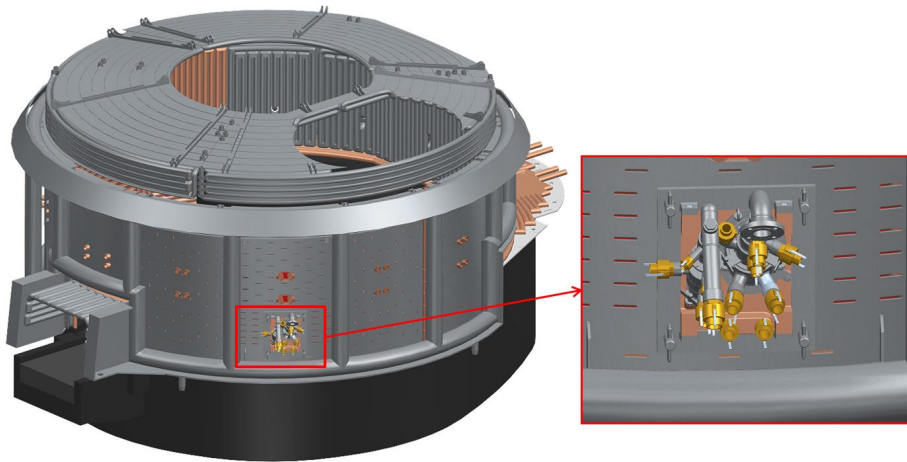


Figura 7: Desenho 3D para verificação de montagem dos equipamentos no forno do cliente.

Definido a geometria, realiza-se o detalhamento 2D com todas as informações necessárias para fabricação do equipamento, seguindo as normas:

- NBR 8404/1984 - Tolerância de acabamento superficial;
- NBR ISO 2768-1/2001 - Tolerancias dimensional;
- NBR 7165 SB 121 - Símbolos gráficos de solda;
- ASME IX 2007 - Processo de soldagem

A partir do desenho detalhado pode-se realizar a fabricação dos produtos seguindo-se as normas de tolerância, acabamento e ensaios destrutivos e não destrutivos necessários para garantir total qualidade dos equipamentos. Em seguida os equipamentos podem ser pré-montados, antes da montagem no FEA, para verificação da necessidade de possíveis ajustes antecipadamente à montagem no forno, conforme apresentado na Figura 7.



Figura 8: Pré-montagem do Conjunto Protect Block.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Conforme apresentado nas Figuras 9 e 10, os equipamentos foram montados na carcaça do forno sem ocorrência de interferência e com boa disponibilidade para manutenção dos equipamentos, em função boa distribuição de mangueiras. Realizou-se também o teste de circulação de água, conferindo-os com os valores estimados no projeto básico, antes que o EAF desse o *startup*.



Figura 9: Montagem do Conjunto Protect Block na carcaça do forno.

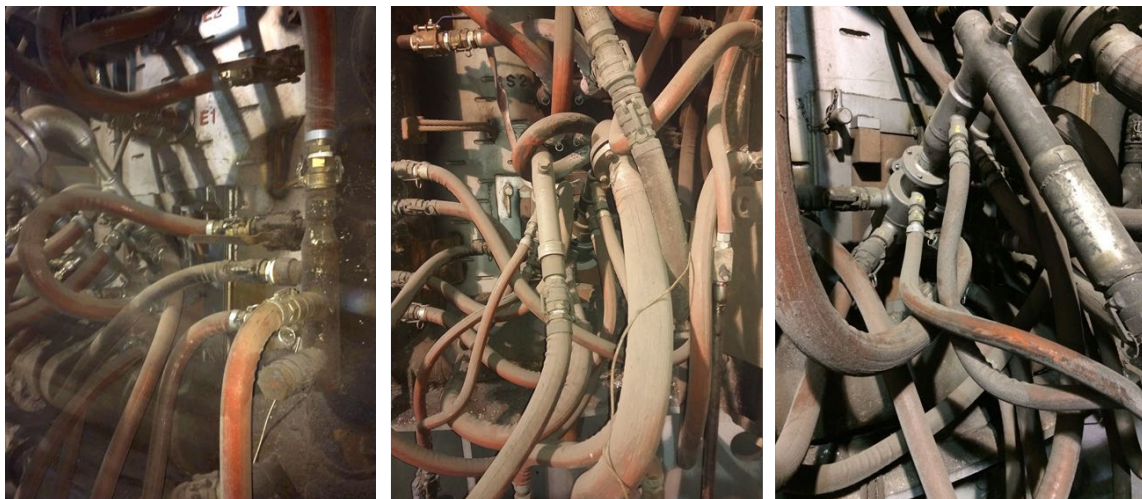


Figura 10: Montagem do Conjunto Protect Block no FEA antes do *startup*.

Aprovado os testes iniciais, deu-se início à posta em marcha do forno com novos equipamentos. Inicialmente optou-se por utilizar o programa de potência anteriormente utilizado, para que se pudesse avaliar a eficiência dos equipamentos do pacote químico Lumar Metals. Para se avaliar esta eficiência, um dos principais parâmetros de acompanhamento nesta etapa foi a medição da atividade do oxigênio no banho (a_O), nos instantes finais da corrida (pré-vazamento). Nas corridas iniciais, com os equipamentos Lumar Metals, realizou-se a primeira medição da a_O , apresentando cerca de 40% superior aos valores médios que eram

obtidos anteriormente, ou seja, a eficiência de oxidação do banho ficou 40% melhor, demonstrando excelente eficiência dos equipamentos Lumar Metals.

Qualitativamente, através da irradiação de luz e barulho do arco elétrico, também pôde ser observado melhora na espumação e qualidade da escória do FEA, demonstrando que o arco elétrico estava com menor dissipação para locais indesejados do forno.

Após validar a eficiência dos equipamentos de injeção do pacote químico, através da consultoria Lumar novos programas químicos foram criados visando a otimização de processo do FEA, adequando a quantidade de energia química fornecida à real necessidade de cada etapa do processo em função da carga metálica utilizada. O trabalho contínuo de aperfeiçoamento do processo foi realizado a fim de obterem-se os melhores resultados metalúrgicos e financeiros, com foco nos objetivos de redução de custo do cliente.

4 CONCLUSION

Até o presente momento, após um ano de utilização dos equipamentos Lumar, pôde-se observar ganhos consideráveis no processo, os quais se destacam:

- Redução de 7,6% no consumo específico de energia elétrica do FEA (kWh/t).
- Redução de 10,5% no consumo específico de oxigênio do FEA (Nm³/t).
- Redução de 1,0 minutos de Power On.

Com relação à manutenção dos equipamentos, neste período de utilização constatou-se a elevação da vida útil média dos equipamentos, onde destacam-se:

- Elevação de mais de 50% da vida média dos injetores de oxigênio;
- Elevação de aproximadamente 100% da vida média dos injetores de carbono;
- Redução de custo e tempo de manutenção dos injetores de carbono com a utilização do modelo Power Carbon;
- Redução de custo e do tempo médio de troca dos equipamentos em geral (blocos e injetores), devido montagem em partes e melhores condições ergonômicas de montagem.

Acknowledgments

Os autores gostariam de expressar o seu agradecimento à Lumar Metals por todo apoio concedido para elaboração dos estudos apresentados neste trabalho.

REFERENCES

1. CGEE. Siderurgia no Brasil 2010-2025, Subsídios para Tomada de Decisão. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, 2010, 112p.
2. IEA. Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a clean energy system”. Published by International Energy Agency, 2012
3. OPFERMANN, A; RIEDINGER, D. Energy efficiency of Electric Arc Furnace – Badische Stahl Engineering GmbH, Germany, 14p.
4. TOULOUEVSKI, Y. N.; ZINUROV, I. Y. Innovation in Electric Arc Furnaces. Scientific Basis for Selection. Ontario – Canada, Springer, 2010.
5. JONES, J. A. T. Electric Furnace Steelmaking. Pittsburgh: The AISE Steel Foundation, 1998, V.10, p. 525-660.
6. SEDIVY, C. H.; KRUMP, R. Tools for Foaming Slag operation at EAF Steelmaking. Metallurgy and Materials, v. 53, N 2, p. 409-413, 2008.
7. KWONG, K. S.; BENNET, J. P. Recycling Practices of Spent MgO-C Refractories. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, v. 1, N. 2, p. 69-78, 2002.
8. PMI. 2013. UM GUIA DO CONHECIMENTO EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS (GUIA PMBOK®). 5ª. Newtown Square, : s.n., 2015. ISBN: 978-1-62825-007-7.
9. ROZENFELD, Henrique, et al. 2006. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para Melhoria do Processo. São Paulo : Saraiva, 2006.
10. MAIA, B. T.; DINIZ, C. N. A.; PEREIRA, G. G.; IMAGAWA, R. K.; SALGADO, R. S.; TAVARES, R. P. Jet Penetration in Slag and Metal Into BOF Cold Model. Anais do 46º Seminário de Aciaria Internacional, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Setembro 2016.