

## DOUBLE SIDE PANEL AND PROTECT BLOCK: 3 YEARS OF CONSOLIDATED RESULTS \*

Thiago Pinto Wandekoken<sup>1</sup>  
Marcelo Souza Lima Guerra<sup>2</sup>  
Fabrício Silveira Garajau<sup>3</sup>  
Pedro Henrique Coutinho<sup>4</sup>  
Michel de Melo Silva<sup>5</sup>

### Abstract

In 2015 Double Side Panel and Protect Block technologies were installed in the EAF of the Votorantim Resende steelmaking shop (nowadays ArcelorMittal South Fluminense Resende) replacing the water cooled panel "P-10" with the aim to increase the operational reliability of the process, reduce the risks of operational accidents, increase the availability of equipment, reduce the number of interventions of maintenance (preventive and corrective), reduce the costs of maintenance (preventive and corrective) and therefore reduce EAF power off time. The results were immediate and positive, the life of the Double Side Panel, for example, has been more than 3 times the average life of conventional Panel. Due to the good results obtained, the use of these technologies has been extended to other positions of the EAF. This paper aims to present the consolidated results of about 3 years of operation of Double Side and Protect Block technologies.

**Keywords:** (EAF, Double Side Panel, Protect Block, increase of confiability, cost reduction).

- <sup>1</sup> Sócio da ABM; Mestre e Engenheiro de Aplicações da Lumar Metals, Serra/ES, Brasil
- <sup>2</sup> Sócio da ABM; Mestre e Eng. Mecânico/Pesquisador da Lumar Metals. Ipatinga/MG, Brasil;
- <sup>3</sup> Sócio da ABM; Mestre e Eng. Mecânico/Pesquisador da Lumar Metals. Ipatinga/MG, Brasil;
- <sup>4</sup> Coordenador de Aciaria da ArcelorMittal Sul Fluminense, Resende/RJ, Brasil
- <sup>5</sup> Técnico de Manutenção Mecânica da ArcelorMittal Sul Fluminense, Resende/RJ, Brasil;

## 1 INTRODUCTION

Inicialmente, os painéis refrigerados foram instalados nas paredes laterais dos FEA, em substituição aos revestimentos refratários, com a finalidade de diminuir o tempo de paralisação dos fornos para reparos. Os excelentes resultados alcançados induziram à ampliação da substituição para toda a parede e até mesmo para as abóbadas, região externa em volta do miolo <sup>(1)</sup>.

Os primeiros painéis refrigerados eram feitos de chapa de aço especial com um sistema interno de chicanas para o direcionamento do fluxo de água. Estes painéis refrigerados também são conhecidos com painéis “tipo caixa”. Atualmente os painéis refrigerados utilizados nos FEA são tubulares e em geral fabricados a partir de tubos de aço carbono ou cobre.

Construtivamente os painéis refrigerados podem apresentar diversas formas e concepções diferentes de projeto, seja pela orientação dos tubos, quantidade de circuitos de refrigeração e/ou quantidade de painéis refrigerados.

De acordo com a orientação de montagem dos tubos dos painéis refrigerados eles podem ser classificados como: Painéis de Tubos Horizontais, Painéis de Tubos Verticais e Painéis de Tubos Mistos.

Os painéis refrigerados também são classificados em relação à quantidade de painéis que um mesmo painel refrigerado possui, sendo classificados como Painéis Simples e Painéis Duplos. Os Painéis Simples são os painéis tubulares convencionais para FEA, ainda os mais utilizados nos fornos elétricos. Estes painéis possuem apenas uma fileira de tubos e quando ocorre um vazamento de água no painel refrigerado é necessária uma rápida substituição do mesmo, a fim de evitar as consequências que a presença da água no interior do forno pode provocar. Os painéis simples ainda podem possuir mais de um circuito de água de refrigeração (dois ou três), nestes casos são chamados de painéis simples com dupla ou tripla entrada de água. Este recurso é utilizado quando a área de exposição do painel é muito extensa, desta forma divide-se a área de exposição por dois ou três circuitos.

Os Painéis Duplos possuem duas fileiras de tubos em sua construção, constituindo dois painéis distintos / independentes fixados em um mesmo painel refrigerado. O painel que fica mais exposto ao interior do forno é chamado de “Painel Frontal”, ou “Painel Interno” e o painel que fica mais próximo à carcaça do forno é chamado de “Painel Traseiro”, ou “Painel Externo”.

Em meio ao cenário onde a busca pelo aumento de produtividade e desempenho operacional dos fornos elétricos é constante, os painéis duplos foram desenvolvidos para permitir maior continuidade / estabilidade operacional dos fornos, haja visto que paradas de produção de caráter corretivo para substituição de painéis refrigerados do forno em função de vazamentos de água, de modo geral, duram no mínimo 120 minutos.

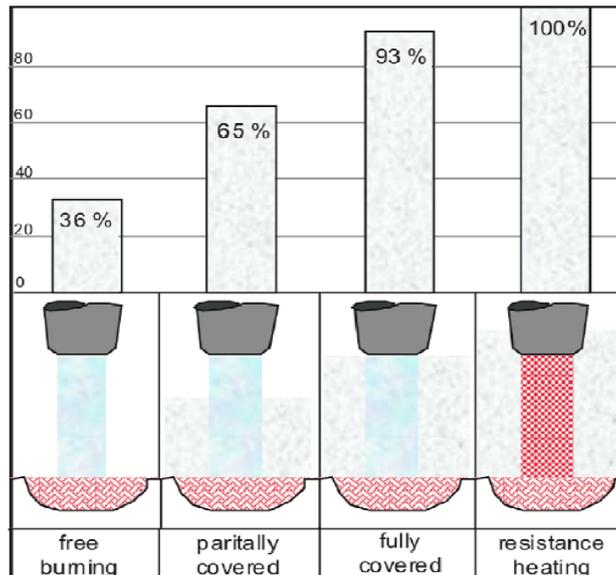
O processo de fabricação do aço em fornos elétricos é feito de forma cíclica bem definida (corrida). Dentro de uma mesma corrida cada etapa do processo possui um perfil térmico característico, variando em grande escala o aporte térmico (fluxo de calor) de exposição dos painéis refrigerados. Ou seja, o aporte térmico ao qual o

painel é submetido na etapa de fusão da carga sólida não é o mesmo que o painel está exposto na etapa de refino, quando há a cobertura do banho pela escória espumante, que por sua vez também não é o mesmo aporte térmico ao qual o painel está exposto durante a etapa de carregamento do forno. A esta variação de temperatura a qual os painéis refrigerados são expostos ao longo do processo caracteriza o ciclo térmico do FEA. O ciclo térmico do forno possui grande influência em falhas de painéis refrigerados por fadiga térmica.

A fadiga nos tubos dos painéis refrigerados do FEA é um fenômeno que ocorre em função do aquecimento desigual de partes deste componente. As tensões térmicas as quais os painéis refrigerados são acometidos podem levar estes equipamentos à falha por fadiga, que neste caso é denominada fadiga térmica <sup>(2)</sup>.

Outro mecanismo de falhas em painéis refrigerados é através de curto circuito elétrico, em função do sistema elétrico do FEA. O comportamento de um arco elétrico em um sistema trifásico é tido como caótico, pois envolve uma rápida e irregular mudança na geometria do arco devido à convecção, aos jatos de plasma e às forças eletromagnéticas. A priori os painéis refrigerados estão posicionados a uma distância “operacionalmente segura” dos eletrodos do FEA e em grande parte dos FEA os painéis refrigerados estão conectados ao circuito de aterramento do forno, ficando teoricamente protegidos dos efeitos causados pelo arco elétrico dos eletros do FEA. Porém, outros fatores como o uso de sucatas de grande comprimento e alta densidade, a má distribuição da carga de sucata no interior do FEA e parâmetros elétricos desregulados podem contribuir para a exposição dos painéis refrigerados aos danos por arco elétrico nos FEA <sup>(2)</sup>.

O rebote de chamas e/ou splash de oxigênio é caracterizado por uma mudança brusca de direção e sentido dos gases injetados no forno através dos equipamentos de energia química, como injetores e queimadores. Neste mecanismo de falha os danos provocam a redução da espessura da parede do tubo do painel refrigerado e conseqüentemente altera a taxa de transferência de calor por condutividade na parede do tubo, o que deveria provocar o aumento da temperatura da água de refrigeração. Porém, a falha do painel refrigerado (vazamento de água no painel) geralmente ocorre antes que seja possível detectar o aumento de temperatura da água do painel <sup>(2)</sup>.



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

De acordo com Kwong e Bennet <sup>(7)</sup> 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.

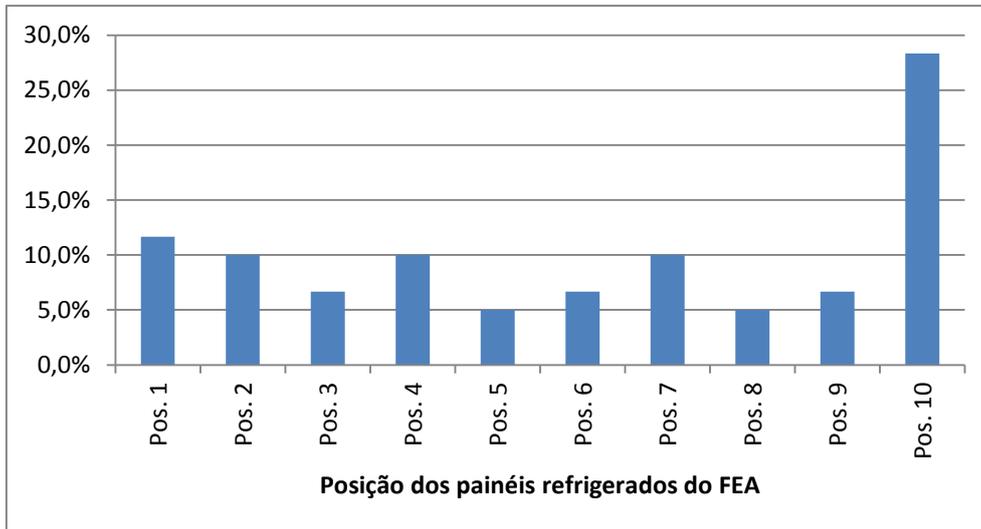
No presente trabalho serão apresentados os equipamentos e conceitos utilizados para o redimensionamento do sistema de injeção, bem como alguns resultados obtidos a partir da operação do forno com esta nova configuração.

## 2 MATERIALS AND METHODS

Ao longo do ano de 2014 foi realizado levantamento e análise estatística dos dados históricos das intervenções de manutenção realizadas nos painéis refrigerados do FEA com o objetivo de identificar as principais causas das intervenções de manutenção nos painéis refrigerados durante operação e em quais posições do FEA estas intervenções ocorriam com maior frequência. A partir destas informações foi realizado o planejamento de implantação do painel Double Side e do bloco Protect Block no FEA, com foco na redução do número total de intervenções, no aumento da

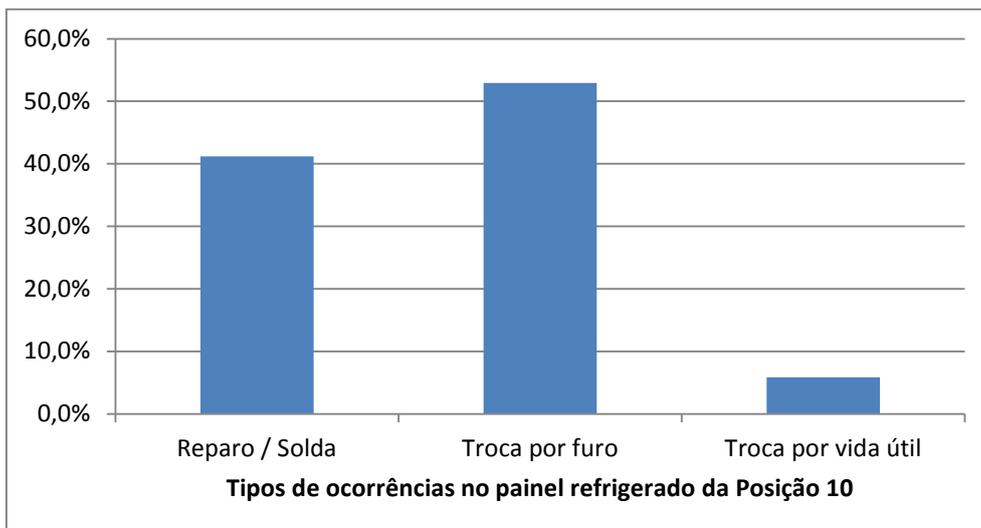
confiabilidade do processo, no aumento da segurança operacional e na redução de custos.

A análise dos dados e históricos de manutenção referentes ao ano de 2014 apontaram a Posição 10 do FEA como sendo a posição mais crítica para montagem de painéis refrigerados. Esta comprovação pode ser observada através do gráfico de Pareto apresentado na Figura 1.



**Figura 1:** Percentual de ocorrências e intervenções nos painéis refrigerados do FEA ao longo do ano de 2014.

Apenas a Posição 10 do FEA concentrou 28,3% das ocorrências relacionadas à painéis refrigerados ao longo do ano de 2014, sendo que do total de ocorrências nesta posição, apenas 5,9% tiveram caráter preventivo, todas as demais foram ocorrências de caráter corretivo, conforme pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2:** Percentual dos tipos de ocorrências e intervenções no painel refrigerado da Pos. 10.

O painel refrigerado que foi utilizado na Pos. 10 até o final do ano de 2014 era um painel duplo fabricado com tubos de aço carbono, conforme pode ser visualizado na Figura 3. Porém, em função das características construtivas, mesmo sendo um

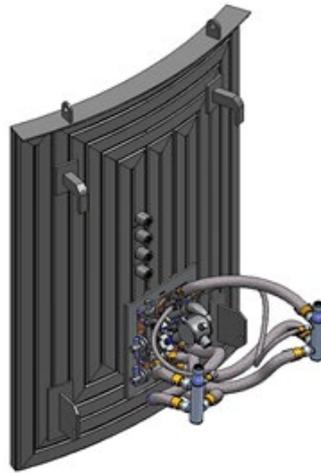
painel duplo, este modelo de painel não permite que o circuito frontal seja “sacrificado” (água de refrigeração desligada) e que o FEA continue operando com este painel tendo apenas com um circuito de refrigeração, o circuito traseiro. Por isso, as ocorrências de vazamentos no painel sempre requerem a substituição imediata dos mesmos, o que demanda maior tempo de interrupção.



**Figura 3:** Painel refrigerado convencional da Pos 10.

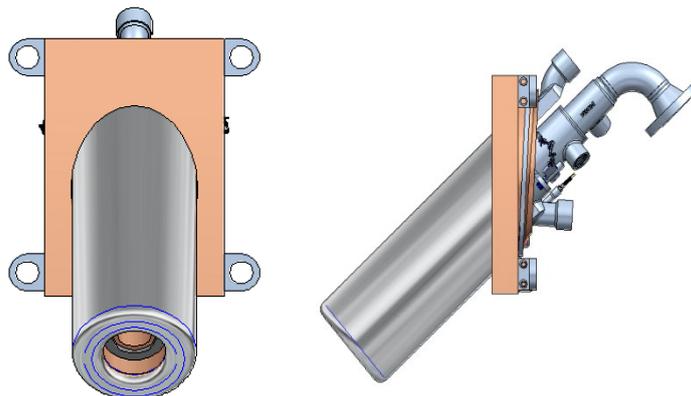
Double Side é uma nova tecnologia de painéis refrigerados desenvolvida pela Lumar Metals especialmente para aplicações em condições severas de operação do FEA, tais como pontos quentes químicos e elétricos. O desenho do painel pode ser visto na Figura 4. As principais características dos painéis refrigerados da tecnologia Double Side são:

- Circuito de refrigeração customizado e otimizado;
- Os painéis Double Side são painéis duplos, com circuito frontal e traseiro totalmente independentes;
- Dimensões reduzidas. A espessura dos painéis Double Side é inferior aos painéis duplos convencionais, o que permite maior aproveitamento do volume interno do FEA;
- Revestimento face frontal do painel, permitindo maior resistência às intempéries do FEA (rebotes de chama, curto-circuito elétrico, impactos, altas temperaturas) e conferindo vida longa ao painel, quando comparado aos painéis tubulares convencionais.



**Figura 4:** Vista traseira do painel Double Side, montado com o Protect Block.

O Protect Block, de tecnologia Lumar Metals, é um bloco de cobre refrigerado de design compacto, porém capaz de aproximar os injetores do banho de aço líquido, promovendo ganhos metalúrgicos ao processo, Figura 5. A menor área de exposição do bloco aliada ao sistema de refrigeração otimizado reduz as possibilidades de danos ao bloco durante operação.



**Figura 5:** Imagem esquemática do Protect Block.

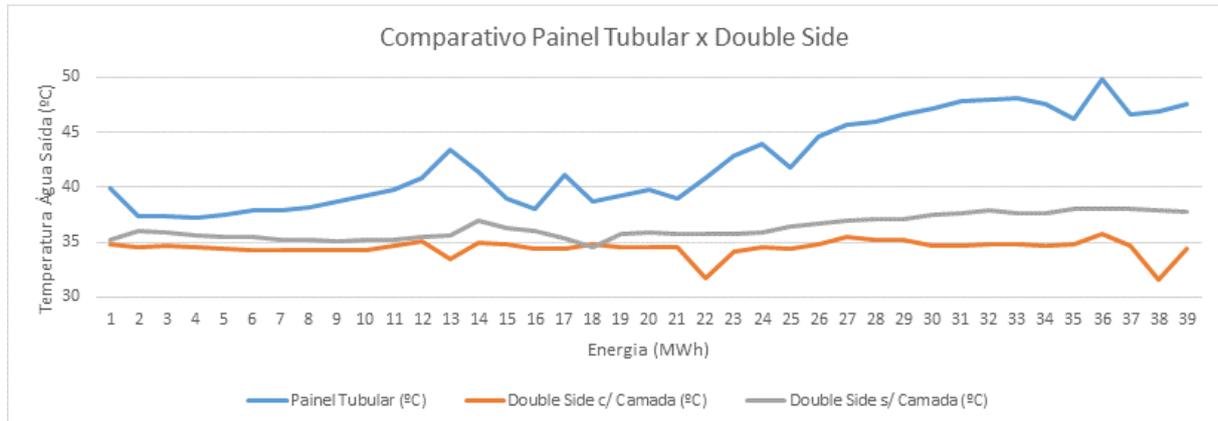
As principais características do Protect Block são:

- Redução de peso de aproximadamente 50%, quando comparado aos blocos de cobre convencionais;
- Menor área de exposição no interior do FEA;
- Camisa refrigerada capaz de resistir a impactos diretos de até 3.000 kg;
- Sistema de refrigeração otimizado para garantir rápida troca térmica;
- Sistema de montagem modular, composto de suporte frame, frame e camisa refrigerada.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Durante a evolução dos testes a principal variável monitorada foi a temperatura de saída da água de refrigeração dos circuitos do painel da Posição 10, principalmente a temperatura de saída da água de refrigeração do circuito frontal do painel, totalmente exposto às condições agressivas do FEA.

O gráfico da Figura 6 apresenta um comparativo da evolução da temperatura da água de saída do painel ao longo de uma corrida típica do FEA, no modelo de painel tubular convencional e do painel Double Side, ambos na posição 10 do FEA.

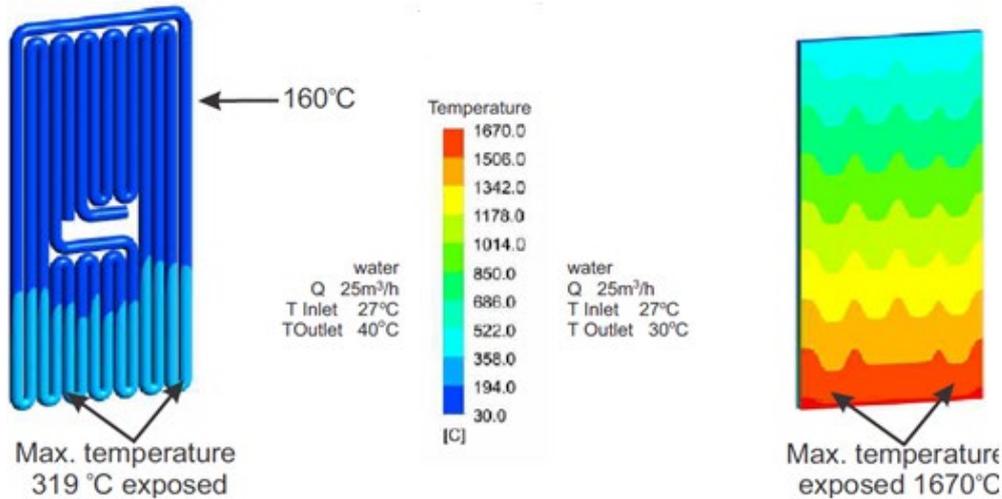


**Figura 6:** Perfil de Temperatura na posição 10 com o Painel Tubular (azul), Double Side com camada cerâmica (laranja) e Double Side sem Camada Cerâmica (cinza).

Observa-se pelo gráfico que o painel tubular convencional tem uma elevação da temperatura da água no período final de fusão da primeira carga do FEA e logo após, durante fusão do segundo carregamento até o final do refino da corrida, há a elevação progressiva da temperatura da água de refrigeração do painel. A temperatura do painel Double Side foi monitorada em duas condições distintas de operação, com e sem revestimento cerâmico. Em ambas situações a temperatura de água do painel Double Side mínima variação ao longo da corrida.

O resultado obtido com o painel Double Side já era esperado, pois estudos preliminares realizados através de simulação computacional mostraram que, para uma mesma condição operacional (vazão de água, aporte térmico, etc), quando comparado aos painéis convencionais, a temperatura da água de saída do painel Double Side é mais de quatro vezes menor do que em um painel convencional, conforme mostrado na Figura 7.

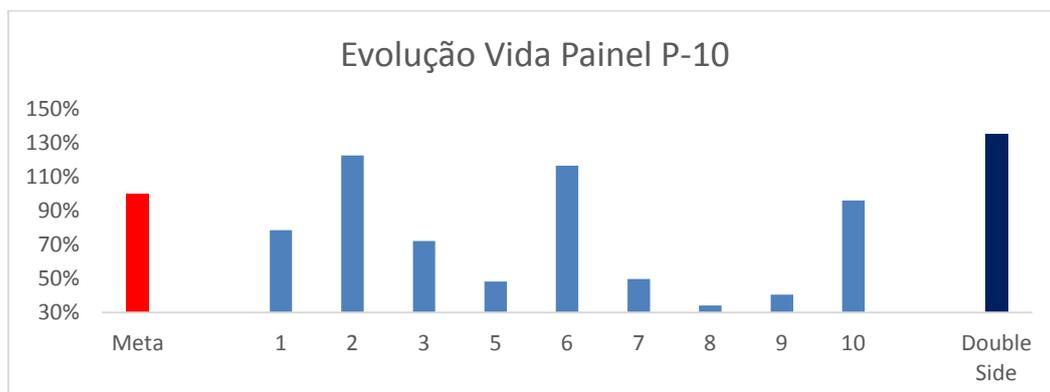
Como a temperatura da água de saída do Painel Double Side é menor, pode-se afirmar também que ele retira menos calor do processo do FEA. Fazendo uma simulação em uma situação típica, a quantidade de calor extraída pelo Double Side seria de 87 kJ/s, enquanto o painel tubular teria uma extração de 376 kJ/s. Esta é uma observação importante, pois pode contribuir para a redução do consumo de energia do FEA e também para redução de formação de zonas frias no FEA (regiões de sucata não fundida).



**Figura 7:** Resultado de simulação computacional comparando um painel tubular convencional (figura da esquerda) com um painel da tecnologia Double Side (figura da direita), com as mesmas condições de operação.

Baseado no perfil térmico apresentado pelo painel Double Side, como a variação de temperatura é menor (quando comparado ao tubular), menor é a ocorrência de contração / dilatação no painel. Dessa forma, as ocorrências de trincas por fadiga térmica são minimizadas.

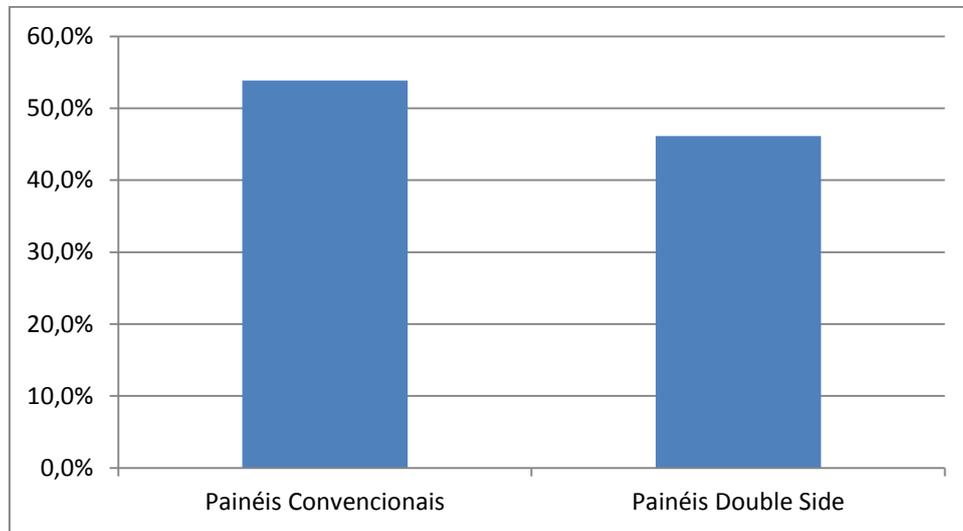
No primeiro teste realizado com o Painel Double Side montado na posição 10 do FEA, no primeiro trimestre de 2015, o painel Double Side foi retirado de operação do FEA com 36% a mais de corridas em comparação com a meta de vida útil esperada para um painel convencional desta posição. Mesmo assim o Double Side foi retirado de operação sem nenhum tipo de dano, apenas para que o painel pudesse ser avaliado de forma mais criteriosa e novos valores de vida útil para este posição pudessem ser estimados. A Figura 8 apresenta a comparação das últimas dez campanhas de painéis convencionais na posição 10 versus a primeira campanha do painel Double Side. Veja que as quatro últimas campanhas sequer haviam atingido o número esperado de vida útil.



**Figura 8:** Comparação da vida dos painéis da posição 10 antes do início dos testes com o Double Side.

Do início do ano de 2015 até o final do ano de 2017, em função do estoque de painéis convencionais existentes na usina, foram utilizados na posição 10 do FEA tanto painéis Double Side quanto painéis convencionais. Contudo a diferença de

performance durante operação ficou muito evidente. Ao todo neste período, conforme pode ser visto na Figura 9, 53,8% dos painéis utilizados na posição 10 do FEA foram painéis convencionais e 46,2% foram painéis Double Side.

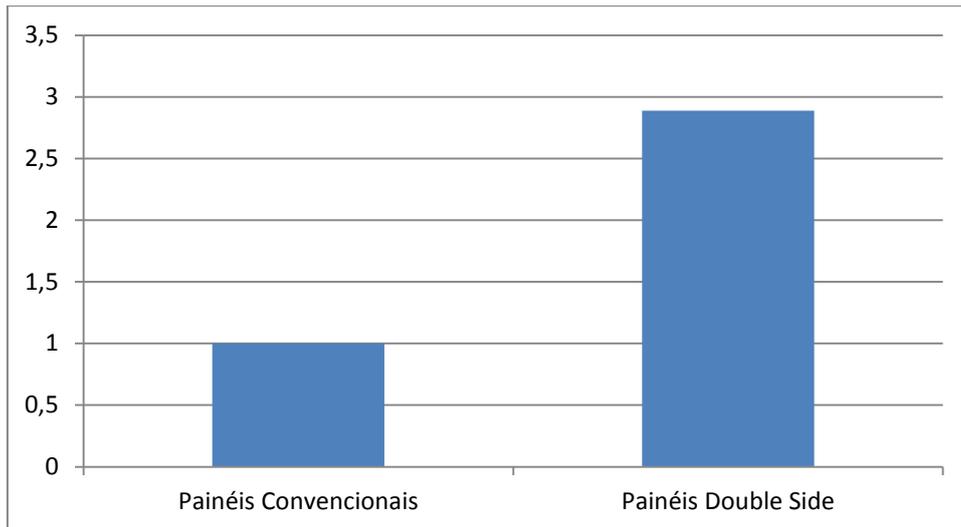


**Figura 9:** Percentual dos tipos de painéis refrigerados utilizados no FEA entre 2015 e 2017.

Porém, quando avalia-se a diferença da vida útil de operação de cada modelo de painel, observa-se que, em média por campanha, a vida útil dos painéis Double Side é 2,9 vezes superior à vida útil dos painéis convencionais, como mostrado na Figura 10.

Por consequência da implantação do painel Double Side foi possível aumentar a confiabilidade e disponibilidade do processo em função da redução de ocorrência de danos em painéis refrigerados e também obteve-se aumento significativo da segurança operacional do FEA, reduzindo os riscos de vazamentos de água do FEA. Outro aspecto importante de se observar foi a redução de custo obtido pela usina. Estes resultados credenciaram os painéis Double Side para serem instalados também em outras posições do FEA, sendo que atualmente os painéis Double Side são utilizados em 40% das posições de painéis de carcaça.

O Protect Block mostrou-se vantajoso operacionalmente, pois sua área de exposição no interior do forno é menor, diminuindo a probabilidade de rebotes de chamas. Além disso, foi possível realizar a troca da camisa refrigerada (Protect Block) com tempo aproximado de 30 minutos, sem a necessidade de realizar a troca do painel refrigerado daquela posição. Este resultado é muito importante, pois antes da implantação do Protect Block no FEA, caso houvesse algum evento de danos em blocos de cobre era necessário realizar a troca de painel refrigerado, atividade que dura em média, de 90 a 120 minutos.



**Figura 10:** Comparação entre a vida útil média dos painéis convencionais com os painéis Double Side.

Em resumo, a utilização do Protect Block é importante para a redução do número de eventos de furo de bloco, além da redução do MTTR (Mean Time to Repair) em relação à troca do bloco/camisa refrigerada. A utilização deste modelo também contribui para aumento da campanha do painel de aço, pois como explicado acima, em alguns momentos o painel era retirado do FEA de maneira prematura em função de eventos ocorridos nos blocos de cobre. Com a utilização do Protect Block a AMSF Resende chegou a registrar período de 12 meses sem nenhum tipo de ocorrência/dano em blocos de cobre refrigerado no FEA, resultado expressivo, haja visto a proximidade do bloco com o banho e agressividade do processo.

#### 4 CONCLUSION

A partir dos dados históricos de operação dos painéis Double Side e Protect Blocks entre os anos de 2015 e 2017 é possível afirmar que:

- Conforme projetado, as tecnologias conseguiram suportar o ambiente agressivo de um FEA com aporte energético (elétrico e químico) elevado;
- A vida média dos painéis Double Side é 2,9 vezes superior à vida média dos painéis convencionais;
- A utilização dos equipamentos elevou a confiabilidade e disponibilidade do processo em função da redução do número de ocorrências de danos em painéis refrigerados;
- Aumento da segurança operacional em função da diminuição dos riscos de vazamentos de água no interior o FEA;
- Houve redução de custo para a usina, haja visto que o aumento de vida útil proporcionado pelos painéis Double Side é superior à variação de custo do painel Double Side versus o painel convencional. Há também de se considerar a redução do uso de mão de obra para manutenções corretivas e preventivas de painéis refrigerados, bem como o tempo de interrupção;

## REFERENCES

1. Silveira, R. C. da, Fabricação de Aços em Fornos Elétricos. Editora UFOP. Minas Gerais, Brasil, 1997.
2. Wandekoken, T. P., Maia, B. T. Fundamentos Básicos da Operação e Manutenção de Painéis Refrigerados de Fornos Elétricos a Arco – FEA. Lumar – Treinamento Interno. Minas Gerais, Brasil, 2013.
3. Wandekoken, T. P., Coutinho, P. H., Guimarães, J. C., Costa, C. P., Cerqueira, J. F. Aumento da Confiabilidade operacional e disponibilidade do FEA da Votorantim Resende Através do uso das Tecnologias Double Side e Protect Block. ABM Week, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.