

DESENVOLVIMENTO CONTÍNUO DA ACIARIA 1 DA USIMINAS ATRAVÉS DA TECNOLOGIA SLAGLESS CLEAN UP® *

*Breno Totti Maia¹
Willian dos Reis Lima²
Carlos Alberto de Souza³
Douglas Augusto Pena⁴
Adeilson Roberto Ribeiro⁵
Guilherme Silva Machado⁶
Marcelo de Souza Lima Guerra⁷
Fabrício da Silveira Garajau⁸*

Resumo

A Aciaria 1 da Usiminas Ipatinga é composta por 03 convertedores BOF com capacidade de 76 toneladas. No intuito de eliminar a intervenção humana na atividade de corte de cascão de boca, manter a boca do convertedor em boas condições permitindo o sucesso nos carregamentos de sucata metálica e gusa líquido. Desta forma para atingir os objetivos listados, além também de garantir e melhorar a estabilidade operacional durante a etapa sopro na produção do aço foi iniciado uma série de desenvolvimentos na lança de oxigênio através da aplicação da tecnologia Slagless Clean Up®. Depois de finalizado o período de testes, os resultados apontaram grande sucesso com a utilização da tecnologia Slagless Clean Up® foram alcançados todos os objetivos propostos. Além também de a tecnologia atingir vida recorde (para a planta) de 1770 corridas na Aciaria 1 da Usiminas Ipatinga.

Palavras-chave: BOF; Cartucho; Cascão; Limpeza de boca; Tap To Tap; Vida de bico; Segurança operacional.

CONTINUOUS DEVELOPMENTS OF USIMINAS IPATINGA ACIARIA 1 THROUGH SLAGLESS CLEAN UP®

Abstract

Usiminas steelworks has 03 BOF converters with 76 metric tons each. The intent to eliminate the human intervention in activities of cutting mouth skull, keep converter mouth in good conditions keep successful in charging of scrap metal and hot metal. This way to achieve the listed objectives, beside also to ensuring and improving operational stability during the blowing stage in steel production, a series of developments in the oxygen Lance was started through the application of Slagless Clean Up® technology. After the end of the testing period, the results showed great success with the use of Slagless Clean Up® technology, all the proposed objectives were achieved. In addition, the technology reaches a record life (for the plant) of 1770 hearts in Aciaria 1 of Usiminas Ipatinga.

Keywords: BOF converter; Cartridge, skulls; Mouth clean; Tap to Tap; Lance tip life; Operational safety; Human risk activities.

¹ Sócio da ABM; Engenheiro Metalurgista e Doutor Pesquisador da LUMAR METALS. Belo Horizonte, MG, Brasil;

² Engenheiro Mecânico e Mestrando da LUMAR METALS. Santana do Paraíso, MG, Brasil;

³ Engenheiro Metalurgista da USIMINAS, sócio da ABM. Ipatinga, MG, Brasil;

⁴ Técnico Metalurgista e Assistente Técnico da USIMINAS. Ipatinga, MG, Brasil;

⁵ Técnico Metalurgista e Assistente Técnico da USIMINAS. Ipatinga, MG, Brasil;

⁶ Graduando em Engenharia Mecânica da LUMAR METALS. Santana do Paraíso, MG, Brasil;

⁷ Engenheiro Mecânico e Pesquisador da LUMAR METALS. Santana do Paraíso, MG, Brasil;

⁸ Engenheiro Mecânico e Pesquisador da LUMAR METALS. Santana do Paraíso, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A Aciaria 1 da Usiminas de Ipatinga é composta por 03 conversores BOF de 76t cada. Desde o ano de 2012, esta siderúrgica vem desenvolvendo e aprimorando a lança de sopro através da tecnologia Slagless® [1-9] com resultados expressivos conforme apresentado na Tabela I.

Tabela I Configurações das lanças

Item	Lança convencional	Lança Slagless
Lança	Bico convencional	Cartucho
Configuração do bico	03 furos 8,5° e furo central	04 furos 10°
Vida media (2018)	200	1096
Cascões (intervalos de corridas)	16	560
Trocas de lança (mês)	78	2,2
Mão de obra	8	1
Cascões na saia móvel (anual)	3	0

No entanto, durante o processo de produção, oscilações ocorrem nas matérias-primas e como consequências geram Slopping (projeções de materiais metálicos e escória fora do forno), em sua forma branda através de *overblow* e na forma mais violenta, projetando material atingindo alturas consideráveis ate mesmo os dutos de despoeiramento primário. A consequência deste evento é a solidificação desta mistura de escória e de metal ao redor da lança, do cone superior do conversor e, em casos extremos, nos dutos e calhas que compõem o sistema de despoeiramento. Sendo a limpeza do cone superior, que em geral, é realizada com interferência humana, uma atividade de alto risco.

O objetivo deste artigo é apresentar o trabalho de implantação da tecnologia Slagless Clean Up® na Aciaria 1 da Usiminas Ipatinga e os resultados obtidos.

2 DESENVOLVIMENTO

O trabalho foi norteado pelos objetivos apresentados pela Usiminas, sendo eles:

- a) Reduzir drasticamente a ação humana aos cascões da boca;
- b) Reduzir a necessidade de intervenção humana nas proximidades do forno;
- c) Reduzir a ocorrência de limpeza mecânica na boca.

A maneira de alcançar estes objetivos listados acima foi através do uso da tecnologia Slagless Clean Up®.

A Slagless Clean Up® é composta por um tubo de cobre. Na extremidade inferior se localiza o bico com os lavais principais para soprar oxigênio no banho líquido.

Acima, na extremidade da extensão de cobre, existe um módulo onde possui alguns furos por onde saem o oxigênio responsável pela limpeza da boca. Esses furos são calculados de modo que o oxigênio tenha velocidade suficiente para se afastar da lança.

Quando a velocidade reduz para menos de 1 Mach ocorre a reação com o monóxido de carbono gerado pelos lavais principais com banho metálico. Este fenômeno é conhecido como "pós-combustão".

Embora a vazão do módulo de pós-combustão possa ser ajustada individualmente para cada furo, ela foi igualmente distribuída no diâmetro da lança com fluxo igual para todas as saídas [7-9].

A Figura 1 mostra a tecnologia de limpeza de boca, a Slagless Clean Up®.

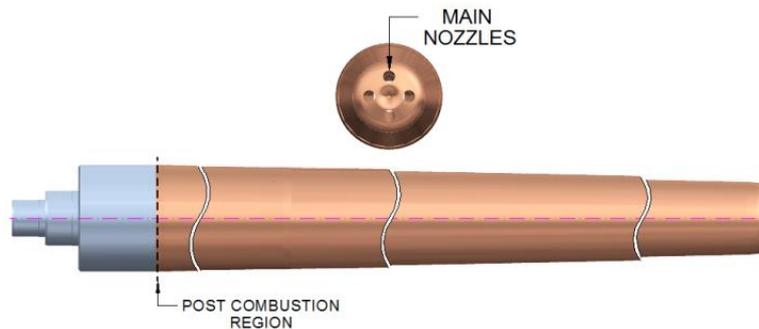


Figura 1 Slagless Clean Up®

Outro aspecto importante a ser considerado no cartucho Slagless Clean Up® é quanto o seu posicionamento dentro do forno durante o processo de sopro.

Na Aciaria 1 da Usiminas foram utilizados 03 (três) cartuchos Slagless Clean Up® durante o período de testes. Estas etapas foram necessárias e importantes para que fossem realizados os ajustes necessários permitindo que o equipamento se adequasse especificamente para uso na Aciaria 1 da Usiminas.

Abaixo serão apresentados os testes realizados.

O teste 01

O primeiro teste teve início na data de 28/03/2016. O primeiro cartucho com a tecnologia Slagless Clean Up® foi removido de operação com 190 corridas. Este resultado não foi satisfatório devido o potencial oferecido pela tecnologia.

Abaixo, a Figura 2 apresenta a condição do bico após a saída da operação prematura.



Figura 2 Condições do bico após saída de operação

Durante os testes, os objetivos almejados pela Usiminas foram alcançados, porém o principal motivo para a remoção do cartucho Slagless Clean Up® foi devido às interrupções de sopro que estavam ocorrendo em virtude do superaquecimento da saia móvel.

Após análise, foi verificado que o superaquecimento da saia móvel estava ocorrendo em virtude da ocorrência da interação do jato de pós-combustão da Slagless Clean Up® com a saia móvel.

O principal ponto de falha neste caso, foi não ter considerado durante a análise da implantação do projeto o fenômeno “*Bottom build up (subida de fundo)*”, como apresenta a Figura 3 abaixo.

Como não foi considerado o fenômeno de “*Bottom build up*”, quando ocorria o aumento da sola, a lança automaticamente realizava o ajuste compensatório visando manter a mesma distância de lança no banho, com isso o módulo de pós-combustão do cartucho Slagless Clean Up® se posicionava nas proximidades do anel de seguimento do convertedor. Devido o jato estar próximo da saia móvel (quando abaixada) o aporte térmico do jato de pós-combustão aquecia os 2 tubos inferiores da saia móvel, fazendo com o que o sistema acusasse o aquecimento da saia.

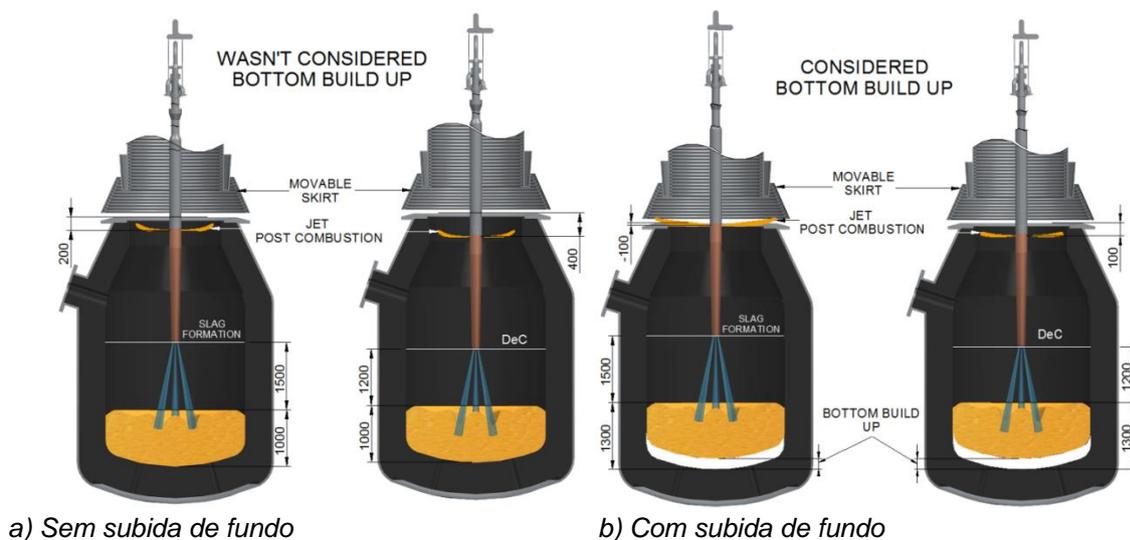


Figura 3 Posição do cartucho Slagless Clean Up®

Comparando na Figura 3 as imagens “a e b” pode-se perceber que quando ocorreu o fenômeno de “*Bottom build up*” o jato de pós-combustão atuou na região do anel de seguimento tendo os jatos próximos à saia móvel, causando assim através do aporte térmico dos jatos de pós-combustão e conseqüentemente o superaquecimento dos tubos da saia móvel e conseqüentemente à interrupção de sopro.

Após perceber e identificar a falha, o cartucho Slagless Clean Up® passou por uma revisão de projeto. Na oportunidade o objetivo foi manter o jato pós-combustão trabalhando na região da boca do convertedor, mesmo após a ocorrência do “*Bottom build up*”.

Após os ajustes realizados no projeto, iniciou-se então o segundo teste.

O teste 02

O segundo teste teve início na data de 15/04/2017. Neste novo teste foi utilizado o cartucho Slagless Clean Up® com as correções de posicionamento dos jatos de pós-combustão. Na oportunidade os jatos foram reposicionados para trabalhar na região do cone do convertedor mesmo quando ocorresse o fenômeno do “Bottom build up”.

Este novo conceito e comportamento da lança no convertedor serão mostrados na Figura 4 abaixo.

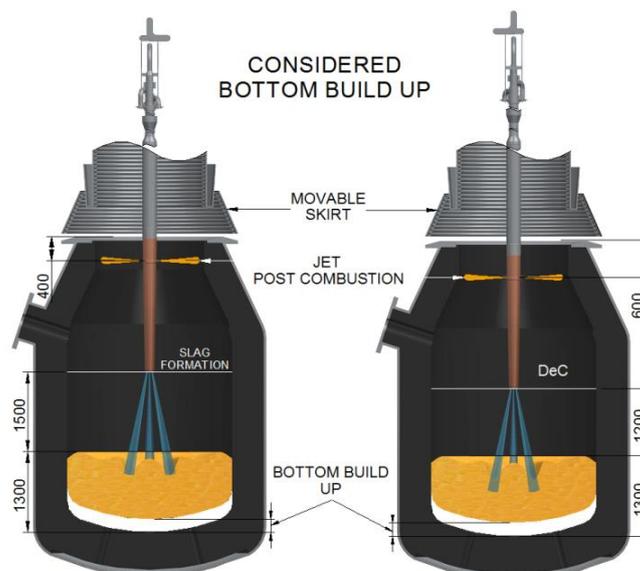


Figura 4 Posição dos jatos de pós-combustão após ajustes no cartucho Slagless Clean Up®

É possível ver na Figura 4 acima a boa acomodação e comportamento do jato de pós-combustão dentro do forno. Após a utilização deste novo conceito, o problema de superaquecimento da saia móvel e interrupção do sopro foram solucionados.

Porém o cartucho Slagless Clean Up® saiu de operação com a vida 71 corridas decorrentes a um furo no bico em função de um rebote de oxigênio na face do bico, como mostra a Figura 5 abaixo.

Infelizmente o fracasso do segundo teste se deu em virtude de uma fatalidade, devido ao rebote de oxigênio ser oriundo de descontroles de processo.



Figura 5 Bico após rebote de oxigênio

Após fatalidade, iniciou-se então o terceiro teste.

Teste 03

O terceiro teste teve início na data de 12/03/2018. Na oportunidade foi mantido o novo conceito de reposicionamento dos jatos de pós-combustão do cartucho Slagless Clean Up® utilizado no teste 02. Para o presente teste, definiu-se que o mesmo ocorreria através de acompanhamentos regulares das equipes da Usiminas e Lumar.

Desta forma, foram 8 meses de acompanhamento dos testes com cartucho Slagless Clean Up®. Dentre o período de operação, a Slagless Clean Up® foi removida de operação em algumas situações, as quais serão apresentadas abaixo:

- O cartucho foi retirado de operação 2 vezes para remoção do cascão na lança;
- O cartucho foi retirado de operação 2 vezes para realizar o ajuste da potência do módulo de pós-combustão. Isso foi necessário para melhorar a limpeza da boca;
- O cartucho foi retirado de operação 1 vez em virtude da troca do cabo do aço do carro que estava danificado.

Após longo período de testes com o mesmo cartucho, a tecnologia Slagless Clean Up® foi removida da operação com a vida de 1770 corridas devido ao alto teor de FeO contido na escoria. O valor de 1770 corridas foi o maior número de vidas alcançadas por um único cartucho ou bico dentro da Usiminas Aciaria 1.

Abaixo, a Figura 6 apresenta as condições do bico após a saída da operação.



Figura 6 Bico após 1770 corridas

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo do acompanhamento consistiu em criar parâmetros e coleta de dados para uma análise comparatória entre as condições operacionais, de processo metalúrgico e das condições das bocas dos 3 (três) convertedores da Aciaria 1 da Usiminas Ipatinga.

O cartucho de teste 3 com a tecnologia Slagless Clean Up® operou durante todo o período no conversor 03, enquanto nos conversores 01 e 02 operaram as lanças sem a tecnologia de limpeza de boca.

Abaixo, a Figura 7 apresenta as condições de boca dos convertedores 01 e 02 durante a operação sem a tecnologia de limpeza de boca.



Figura 7 Boca dos convertedores 1 e 2 sem utilização da tecnologia Slagless Clean up®

Os convertedores 01 e 02 apresentados na Figura 7 possuem uma forma irregular dos cascões de boca e cada vez mais ancorados. Os cascões quando são formados internamente na região do cone do conversor (cone superior) tendem a dificultar o carregamento de Gusa líquido e Sucata. O fechamento da boca restringe a passagem da lança e os gases de escape gerados durante o sopro, além também de aumentar os Sloppings.

Quando formado, os cascões internos são de difícil remoção, desta forma para facilitar sua remoção, um corte com oxigênio em forma de cruz é realizado manualmente e em seguida a limpeza mecânica final é realizada. Como consequência, estas operações são consideradas de altíssimos riscos para a segurança operacional e de pessoas, além também de elevado tempo de execução.

No conversor 03, onde a Slagless Clean Up® operou durante todo período de testes, os cascões internos não foram notados, com isso:

- Facilitando a limpeza do anel do segmento;
- Reduzindo o tempo de limpeza do anel de seguimento;
- Reduzindo o tempo de carregamento de Gusa líquido e Sucata;
- Eliminando a ação humana na atividade de corte de cascão da boca com o maçarico de oxigênio.

Abaixo, a Figura 8 apresenta as condições de boca do conversor de 03 durante a operação com a tecnologia Slagless Clean Up®.



Figura 8 Condição da boca do convertedor 03 com a utilização da Slagless Clean up

Tempo total de limpeza da boca

A Figura 9 mostra a comparação do tempo total gasto para realizar a limpeza completa da boca dos convertedores. Neste caso, os tempos de limpeza foram contabilizados considerando os somatórios dos tempos de limpeza com corte de oxigênio e de limpeza mecânica.



Figura 9 Tempo de limpeza total da boca do convertedor

É interessante notar o bom desempenho da Slagless Clean Up® no tempo total de limpeza da boca. Fazendo uma comparação entre os dados obtidos no gráfico da Figura 9, estima-se um ganho de 1 ½ corrida em decorrência do tempo limpeza de boca.

A Figura 10 apresenta o tempo total de limpeza da boca considerando apenas o tempo gasto com a utilização do maçarico de oxigênio na limpeza.

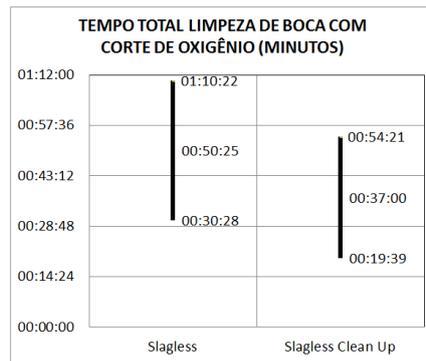


Figura 10 Tempo total de limpeza da boca com atividade humana no corte de oxigênio

Segurança operacional

Durante o período de 244 dias utilizando a tecnologia Slagless Clean Up®, foram realizadas 3 limpezas de boca utilizando corte com maçarico de oxigênio, conforme mostrado no gráfico da Figura 11 abaixo.

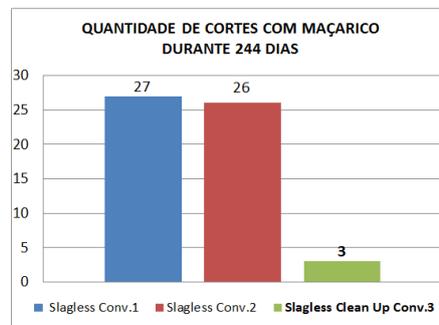


Figura 11 Quantidade de limpezas utilizando maçarico de oxigênio

Comparando com os outros convertedores no mesmo período, este fato significa uma redução significativa na exposição dos operadores a riscos durante a execução desta atividade, atingindo o principal objetivo de implementar a tecnologia Slagless Clean Up®. Considerando a redução do tempo de exposição, como mostrado na Figura 10 e Figura 11, houve uma redução de 90% do potencial de risco associado à atividade de corte manual da boca do conversor.

Intervalos entre limpeza de boca

A Figura 12 mostra os intervalos de limpeza da boca entre os convertedores.

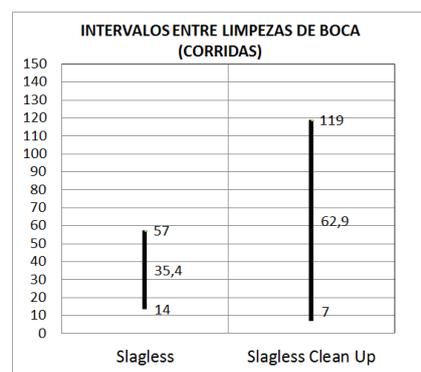


Figura 12 Intervalos entre limpezas de boca

Embora a Slagless Clean Up® apresente um maior desvio entre as corridas por limpeza da boca, o valor médio e o limite superior representam respectivamente entre 04 a 08 dias sem a necessidade de paralisar as operações para esse fim. Enquanto com a lança sem a tecnologia Slagless Clean Up®, o intervalo máximo foi inferior a 2,5 dias. Para operações de limpeza de boca, aliada à economia de tempo na realização da atividade, a tecnologia Slagless Clean Up® representa um potencial de aumento de 20 corridas por mês, considerando 15 corridas por dia por conversor considerando um mês com 29 dias produtivos.

Parâmetros operacionais

A tabela II apresenta as comparações operacionais considerando o efeito da Slagless Clean Up®.

Tabela II Comparação dos parâmetros operacionais

Item	Slagless		Slagless Clean Up®	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Tempo de sopro (minutos)	18:36	03:30	18:20	02:19
Oxigênio (Nm ³ /corrida)	3924	243	3862	179
Temperatura fim de sopro (°C)	1684	28	1696	23
Carbono fim de sopro (%)	0,055	0,020	0,048	0,019
Tempo de início de recuperação gasosa (minutos)	07:48	02:40	07:21	02:50
CO máximo recuperado (%)	67,8	8,6	73,5	7,4

O tempo final de sopro com a Slagless Clean Up® não sofreu alterações significativas quando comparado com a lança sem pós-combustão.

O consumo de oxigênio com a Slagless Clean Up® foi relativamente menor comparado com a lança sem pós-combustão. Este fato chama a atenção para dois motivos:

- O primeiro é pelo baixo desvio, fazendo com que a redução no valor médio seja uma consolidação;
- O segundo, porque a Slagless Clean Up® é projetada para aumentar o consumo de oxigênio em 2% e com os ajustes realizados em campo esperava-se um aumento no consumo em 1%, totalizando um consumo de 3%.

A diferença entre os valores médios comparando as lanças sem pós-combustão e a Slagless Clean Up® foi de 98 m³ / corrida, ou uma redução de consumo próximo a 2,4%. A hipótese relacionada a este comportamento consiste no aumento da temperatura de encharque do convertedor e, conseqüentemente, maior demanda por sucata como refrigerante e conseqüentemente reduzindo o consumo de oxigênio para reações de refino.

O objetivo da Slagless Clean Up® é limpar o cone superior do convertedor. Seja na fusão do cascão já aderido ou na manutenção da condição do cone superior.

A média e o desvio da temperatura no final do sopro mostram que o uso da Slagless Clean Up® levou a um aumento na reserva térmica do convertedor e permitiu concluir que a tecnologia estabeleceu um novo regime térmico ao longo das corridas.

Cartucho Slagless Clean Up®

A tecnologia Slagless Clean Up® atuou de maneira eficiente durante todo o seu período de operação, sendo retirada para corte de cascões por 2 vezes e obteve uma vida útil recorde de 1770 corridas na Aciaria 1 da Usiminas Ipatinga.

Durante o período de operação, a tecnologia Slagless Clean Up® apresentou um perfil de desgaste no bocal, conforme mostrado na figura 13 abaixo.



Figura 13 Perfil de desgastes do bico

O bico sofreu desgastes nos lavais ao longo das corridas. Esses desgastes ocorreram em virtude das condições das vazões utilizadas em operação versus as condições de vazões calculadas para operação do cartucho. O corpo do cartucho foi preservado e o módulo de pós-combustão apresentou excelentes condições visuais.

Após 1508 corridas os furos do módulo de pós-combustão apresentaram excelente comportamento em termos de desgastes, como mostrado na Figura 14 abaixo.

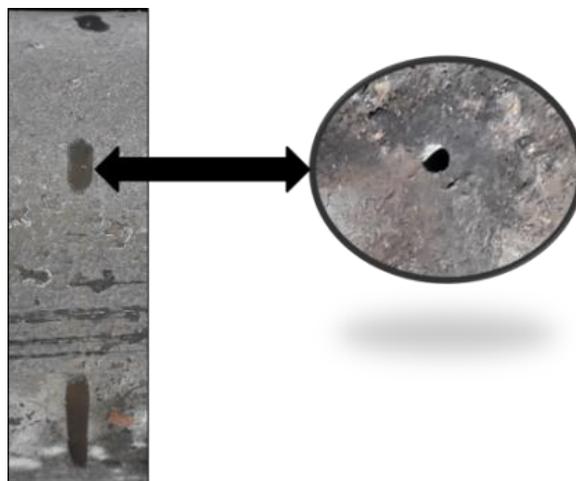


Figura 14 Módulo de pós-combustão após 1508 corridas

4 CONCLUSÃO

As principais conclusões foram:

- Redução de 90% do potencial de risco humano associado à atividade de corte cascão com maçarico de oxigênio;
- Maior disponibilidade do convertedor, o que pode significar um aumento de 4,6% na produção mensal de aço;
- Aumento da vida útil da lança, sendo um novo recorde da Usiminas Aciaria 1 com 1770 corridas;
- Redução da limpeza de boca em 82%;
- Limpeza menos agressiva ao refratário;
- Redução do consumo de oxigênio em 2%;
- Melhor recuperação de gás (CO).

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Usiminas Aciaria 1 pela oportunidade no desenvolvimento e à Lumar Metals pelo incentivo a pesquisa e desenvolvimento.

6 REFERÊNCIAS

- [1] MAIA, B. T., RIBEIRO, A. R., SOUZA, C. A., SANTOS, B. O. A., GARAJAU, F. S., GUERRA, M. S. L. Continuous Developments at the Steel plant 1 Usiminas Ipatinga through Slagless Technology. AISTECH Proceedings 2015.
- [2] MAIA, B. T., SANTOS, B. O. A., GARAJAU, F. S., GUERRA, M. S. L., BARCELOS, H. S., TEIXEIRA, O. A. C. AOD Mouth Cleaning Results in APERAM South America Usina Slagless Clean Up. AISTECH Proceedings 2015.
- [3] SARDINHA, I. A., Slagless Lance Recent Results at BOF Steel Plants Have Shown a Better Flexibility in Oxygen Blowing. Anais do 6th European Oxygen Steelmaking Conference, Stockholm, Sweden, 2011.
- [4] SATO, C.; OLIVEIRA, D. C.; TORRES, J. G.; MAIA, B. T.; GARAJAU, F. S.; GUERRA, M. S. L.; ANDRADE, W. M.; LIMA, W. R. PERFORMANCE IMPROVEMENTS IN BOF AT ARCELOR MITTAL MONLEVADE BY TECHNOLOGY SLAGLESS® LANCE In: 3rd ESTAD 2017, Viena. European Steel Technology and Applications Days 2017. Leoben: ASMET, 2017. p.1138 - 1147
- [5] DUARTE, M. S., ANDRADE, W. M. Lança de Sopro para Fabricação de Metais. PI 0601011-3A. 30 ago. 2007. 18p.
- [6] GUERRA, M. S. L., GARAJAU, F. S., MAIA, B. T., Blow Spear for Fabrication of Metals and Maintenance of Loading and Blowing Operational Conditions US. Pat. 9,732,393 B2. Aug. 15, 2017. 11p.
- [7] MAIA, B. T., GARAJAU, F. S., BATISTA, F. S., LIMA, W. R., GUERRA, M. S. L., CARVALHO, D. A. G., TAVARES, R. P. Estudo Trigonométrico para Bocais de Lança de BOF com Múltiplos Jatos. In: SEMINÁRIO DE ACIARIA - INTERNACIONAL, 47., 2016, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2016. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/anais>. Acesso em: 03/10/2016.
- [8] MAIA, B. T., BARROS, J. E. M., NASCIMENTO, L. M., GUERRA, M. S. L., TAVARES, R. P., Simulação Numérica do Sopro de Oxigênio através de Bocal Supersônico. Revista Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração v. 9, n.1, jan.- mar. 2012.
- [9] MAIA, B. T., GARAJAU, F. S., GUERRA, M. S. L., CARVALHO, D. A. G., TAVARES, R. P. Efeito da Pressão Ambiente e da Temperatura do Oxigênio sobre a Penetração de Jato no Banho Metálico no BOF. In: SEMINÁRIO DE ACIARIA - INTERNACIONAL, 47., 2016, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2016. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/anais>. Acesso em: 03/10/2016.