



## DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE SOPRO COM LANÇA DE 3 FUROS NO CONVERTEDOR AOD-L DA ARCELORMITTAL INOX BRASIL<sup>1</sup>

Rafael Porto Oliveira<sup>2</sup>  
Luiz Fernando de Andrade e Castro<sup>3</sup>

### Resumo

Inserido em um mercado extremamente competitivo as empresas siderúrgicas vem aprimorando seus processos produtivos através de desenvolvimentos de processo alinhando a teoria e a particularidade operacional de cada empresa de forma a reduzir custos de produção e aumento de produtividade. O desenvolvimento deste trabalho se baseou em uma ampla pesquisa bibliográfica para definição e configuração do bico da lança de 3 furos utilizada neste trabalho em substituição à lança de 4 furos no convertedor AOD-L da ArcelorMittal Inox Brasil. A lança de 3 furos teve seu ângulo de abertura e diâmetro do bocal modificados e foi utilizada nos experimentos realizados no aço inoxidável austenítico P304A nas rotas de produção FEA-FEA e FEA-PTG. Com a utilização da lança de 3 furos houve uma redução da oxidação do cromo, redução do CTT, melhor eficiência de dessulfuração no convertedor AOD-L com melhoria na qualidade do aço inoxidável P304A.

**Palavras-chave:** Aço inoxidável; Lança de topo; Descarburização; AOD-L.

### DEVELOPMENT OF THE BLOW PROCESS WITH TREE HOLE LANCE ON THE AOD CONVERTER OF ARCELORMITTAL INOX BRASIL

### Abstract

Insert in one competitive market the siderurgical companies are developing their process in other to reduce costs and increase the productivity. This work was based in one biography research to define the new geometry of the 3 hole lance that was substitute the 4 hole lance on the AOD process. The 3 hole lance had their inclination angle and the noses diameter changes to be used on the experiments on the EAF-EAF and EAF-HOT METAL rotes. Using 3 hole lance on the AOD process was possible reduce the chromium oxidation, reduce CTT (Charge to Tap), increase desulfurization efficiency with better qualities results on the steel 304A.

**Key words:** Stainless steel; Top lance; Descarburization; AOD-L.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, Gerente de Convertedores da ArcelorMittal Inox Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Professor Dr. UFMG.



## 1 INTRODUÇÃO

O convertedor AOD-L é o principal equipamento utilizado na produção do aço inoxidável. É um vaso de aço, na forma de barril, revestido com refratário em seu interior, com uma abertura na parte superior para receber a carga metálica e fundentes e para vazamento do aço e escória formada no processo. A sigla “AOD” significa descarburização com argônio e oxigênio (A-argon, O-oxygen, D-descarburization) e como sugerido pelo próprio nome, o refino dos aços inoxidáveis ocorre através da injeção de uma mistura de oxigênio e gás inerte no banho metálico com objetivo de promover a oxidação seletiva do carbono. Alguns convertedores como na ArcelorMittal Inox Brasil, além das ventaneiras laterais possuem lança de topo para sopro complementar de oxigênio e por isso são denominados convertedor AOD-L.

Através da lança de topo é soprado oxigênio de alta pureza com velocidade supersônica sobre a superfície da carga metálica promovendo as reações de refino e formação de escória. O sopro de oxigênio além de promover as reações químicas proporciona também agitação do banho metálico sobre as paredes refratárias do convertedor que pode ter seu desgaste acentuado dependendo da intensidade e direção do oxigênio soprado. A intensidade de agitação do banho depende do projeto do bocal da lança de topo, da vazão de gases da lança e ventaneiras e pela altura da lança durante o processo.<sup>(1-2)</sup>

O processo de fabricação no AOD-L da ArcelorMittal Inox Brasil possui diferentes alternativas de produção, desde a utilização de cargas contendo sucata e ferro ligas fundidos em fornos elétricos a arco (EAF) a cargas contendo somente ferro gusa líquido tratado na estação PTG podendo também mesclar carga de ferro gusa tratado e carga do forno elétrico a arco como ilustrado na Figura 1.

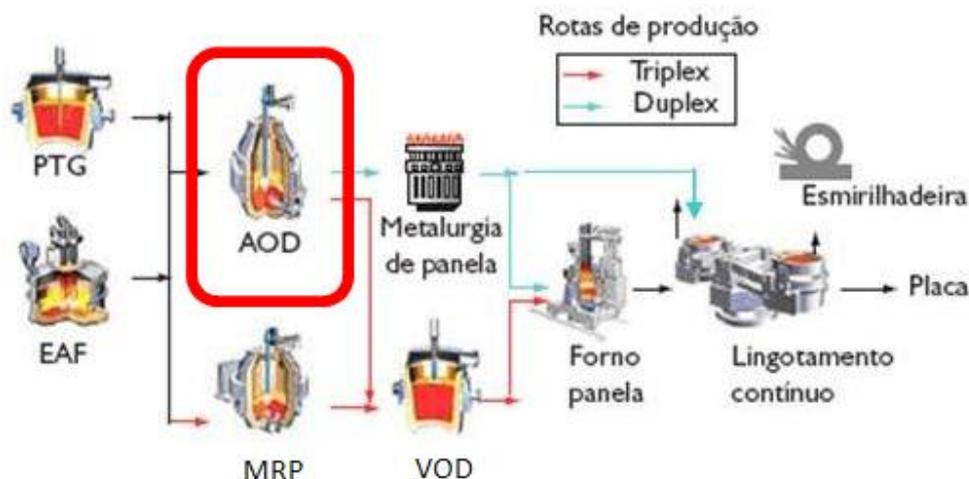


Figura 1 - Rotas de produção do aço inoxidável na ArcelorMittal Inox Brasil.

Diante das diferentes alternativas de produção, as condições do processo no AOD-L da ArcelorMittal Inox Brasil são únicas no mundo, devido a baixa temperatura do pré-metal carregado (aprox. 1.300°C), ao alto teor de carbono (aproximadamente 4%) no início do processo e devido a grande quantidade de adições de carga sólida (16% a 35%) para o acerto da composição química do aço.



Durante o processo do sopro de oxigênio para a redução do teor de carbono, metais tais como cromo, manganês e ferro também são oxidados. Ao final do processo de descarburização, é indispensável a redução dos metais oxidados que retornam para o banho metálico através da adição de agentes redutores como FeSi.

Para que o processo seja economicamente viável é essencial ter um controle rigoroso do processo de forma a otimizar o consumo de refratário, redutores, gases e fundentes que devem estar alinhados com a produtividade e rendimento das ligas carregadas durante o processo de elaboração em convertedores AOD-L.

O propósito deste trabalho é desenvolver o processo de sopro com lança de 3 furos em substituição à lança de 4 furos com objetivo de otimizar o processo de elaboração de aços inoxidáveis no convertedor AOD-L da ArcelorMittal Inox Brasil para redução do consumo dos insumos utilizados no processo e ganho de produtividade.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O número de variáveis metalúrgicas e de processo que tem influência nos resultados de produção de aço inox em convertedor AOD-L é muito grande sendo, em alguns casos difícil identificar qual a variável causou algum resultado insatisfatório. Considerando um contexto global certos parâmetros operacionais muito importantes não podem sofrer alterações, pois são inerentes à configuração estabelecida pela empresa portanto faz se necessário definir as condições de contorno a ser avaliada buscando eliminar a interferência de diferentes variáveis que são inerentes ao processo.

No caso da ArcelorMittal inox Brasil além das diferentes rotas de produção possíveis o pré metal carregado no convertedor apresenta grande variação em sua composição química e peso implicando em variações de peso de carga solida (Buid-Up) carregada durante o processo de produção no AOD-L.

Buscando atingir o objetivo deste trabalho a metodologia foi dividida em 2 etapas:

1. Parte teórica
  - Configuração do bico da lança de 3 furos.
  - Definição das variáveis resposta.
2. Parte Experimental
  - Desenvolvimento e execução do plano de experiência.
  - Coleta de dados utilizando a lança de 3 furos.

### 2.1 Configuração do Bico da Lança de 3 Furos

A definição da configuração do bico da lança de três furos se baseou em uma revisão bibliográfica<sup>(3)</sup> com objetivo de promover um fluxo de gases favorável para o processo de descarburização e um melhor controle da oxidação de cromo e promover uma combinação favorável de sopro da lança com as ventaneiras de forma a minimizar os desgastes das ventaneiras instaladas na lateral do convertedor. Alguns parâmetros da configuração do bico da lança de três furos é mostrada na Tabela.

Tabela 1 – Configuração geométrica da lança de 3 e 4 furos

	Lança 3 Furos
Diâmetro entrada	22,8



Diâmetro Saída	30
Inclinação do bico	9°

## 2.2 Definição das Variáveis Resposta

As variáveis resposta foram definidas considerando o objetivo deste trabalho. As variáveis escolhidas foram oxidação de cromo, CTT (Tempo de processo da corrida), consumo específico de oxigênio ( $\text{Nm}^3/\text{t}$ ), consumo específico de argônio ( $\text{Nm}^3/\text{t}$ ) e eficiência de dessulfuração.

Em função da variável build-up (entrada de carga sólida no convertedor AOD-L) afetar a oxidação do cromo foi definida a relação FeSi/Buid-Up com objetivo de eliminar interferências decorrentes desta variável na apuração dos resultados. A oxidação de cromo é medida indiretamente pela quantidade de FeSi adicionado no processo de redução que tem relação direta com a quantidade de carga sólida adicionada (Buid-Up) durante o processo. A variável resposta oxidação de cromo foi substituída então pela relação da quantidade ( $\text{kg/t}$ ) de FeSi utilizada para reduzir o cromo dividida pelo Buid-Up.

As variáveis resposta foram obtidas para os processos:

- FEA-PTG (Carga do AOD-L contendo aproximadamente 50% de pré-metal do FEA e 50% do PTG)
- FEA-FEA (Carregamento de 100% de pré-metal dos FEA's)

a rota de produção duplex (sem utilização do VOD para descarburização) foi definida com rota para avaliar o desempenho operacional do convertedor AOD-L utilizando a lança de três furos.

Os experimentos foram realizados no aço P304 que representa aproximadamente 44% da produção total de aço inox na ArcelorMittal Inox Brasil.

Para este estudo a posição da lança de três furos foi posicionada conforme descrito na Figura 2 em que dois dos três furos ficaram localizados em oposição ao lado das ventaneiras como destacado.

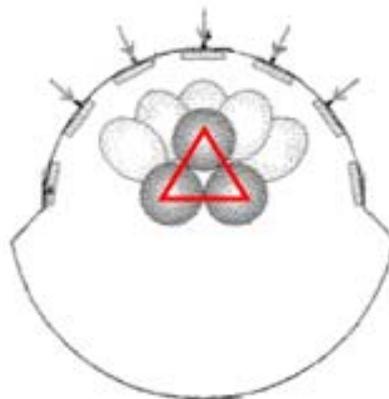


Figura 2 - Posição de sopro da lança de 3 furos nos experimentos realizados neste estudo.

## 2.3 Desenvolvimento do Plano de Experiência



Na ArcelorMittal Inox Brasil existe uma norma técnica em que qualquer modificação de alguma variável de processo deve seguir um controle de experiência aprovado pelos engenheiros e gerente de metalurgia com o objetivo de garantir a qualidade do produto final. Foi elaborado para este desenvolvimento um controle de experiência contendo os principais controles de processo em que as corridas produzidas no AOD-L utilizando lança de 3 furos era feita de forma gradativa limitada à aprovação de qualidade do produto final.

### 2.4 Coleta e Preparação dos Dados

Os dados experimentais foram coletados e armazenados em uma planilha eletrônica para avaliação estatística utilizando o software Minitab.

As variáveis coletadas para gerar as variáveis resposta deste trabalho foram:

- CTT (*Charge-to-Tap*);
- Buid-Up (entrada de carga sólida no convertedor AOD-L);
- Consumo de FeSi na redução;
- Consumo específico de oxigênio (Nm<sup>3</sup>/t);
- Consumo específico de argônio (Nm<sup>3</sup>/t); e
- Eficiência de dessulfuração no AOD-L.

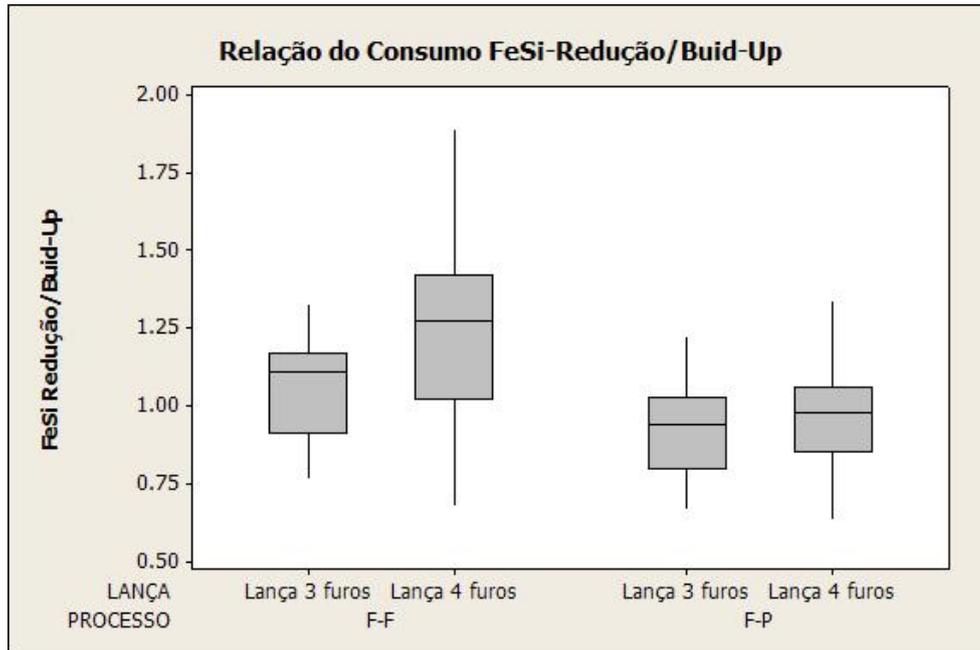
Os dados experimentais foram analisados buscando verificar a existência de algum erro grosseiro no banco de dados ou alguma anormalidade durante o processamento da corrida. O erro que, em valor absoluto, fosse maior que os demais valores foi considerado como um ponto extremo conhecido como *outlier*.

Utilizou-se o gráfico “box-plot” gerado pelo software Minitab para apurar os resultados obtidos com a lança de 3 furos em comparação com a lança de quatro furos.

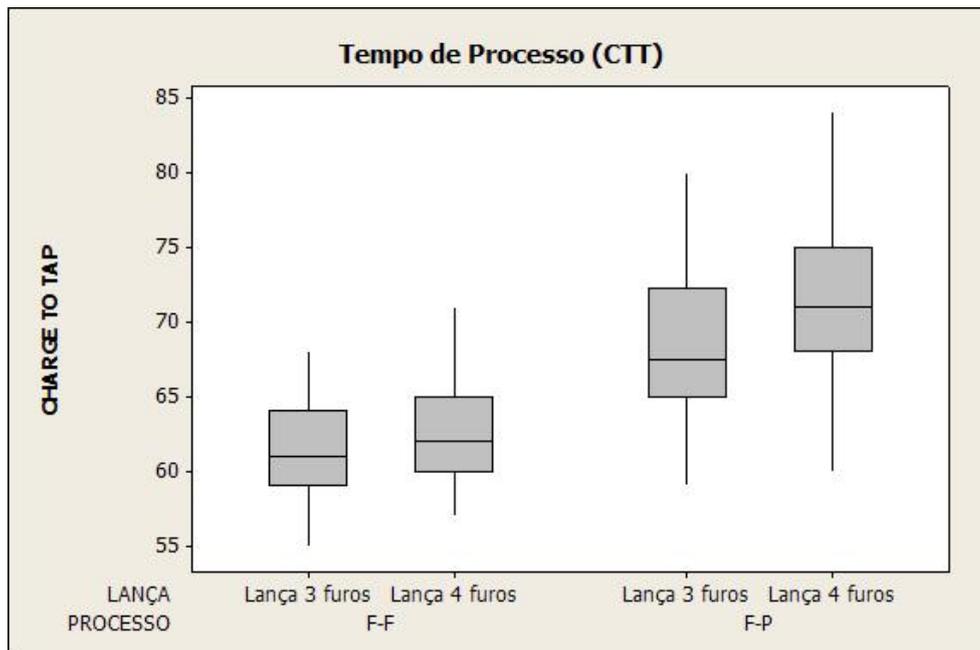
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como proposto no plano de experiência foi executada a experiência utilizando a lança de três furos no aço inoxidável austenítico P304A nas rotas FEA-FEA e FEA-PTG. Foram realizadas experiência em 60 corridas para avaliação das variáveis resposta selecionadas.

Nos resultados ilustrados na Figura 3 destaca-se uma maior relação FeSi/Buid-Up para rota FEA-FEA quando comparada com a rota FEA-PTG que neste caso esta relacionado ao maior aporte térmico inicial na rota FEA-PTG em função do carbono inicial do pré-metal que em média é superior em 1%. O resultado comparativo da lança de três furos com a lança de 4 furos para a relação FeSi/Buid-Up se destacou na rota FEA-FEA com resultado médio de 1,07 utilizando a lança de três furos e 1,26 utilizando a lança de quatro furos que significa uma menor oxidação do banho utilizando a lança de três furos. Para a rota FEA-PTG apresentou resultado médio de 0,93 para lança de três furos e 0,97 para lança de quatro furos.



**Figura 3** - Variação da relação do consumo de FeSi/Buid-Up utilizando a lança de três e quatro furos na rota FEA-FEA e FEA-PTG no aço P304A.

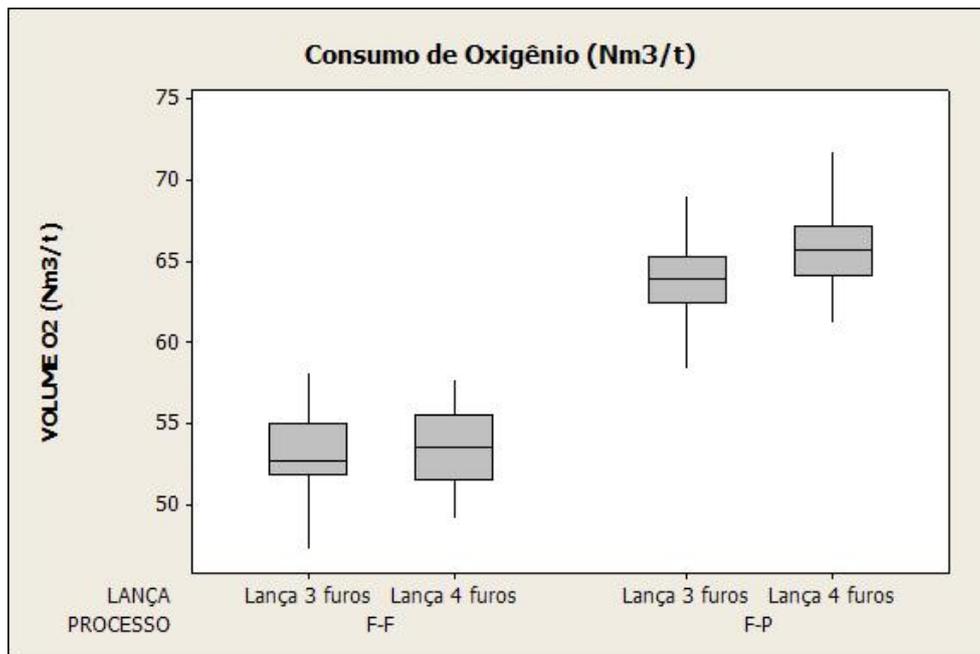


**Figura 4** - Variação do CTT utilizando a lança de três e quatro furos na rota FEA-FEA e FEA-PTG no aço P304A.

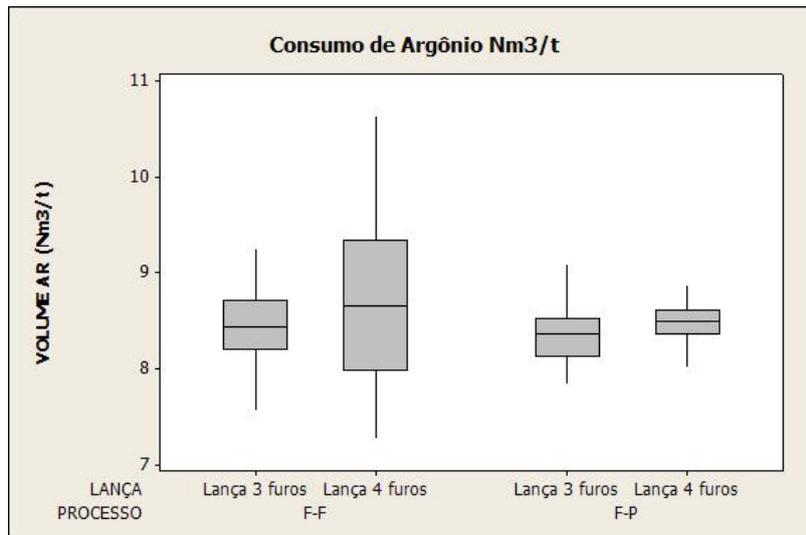
A variável resposta CTT ilustrado na Figura 4 mostra uma redução do tempo de processo quando é utilizada a lança de três furos comparada com a lança de quatro furos para as rotas FEA-FEA e FEA-PTG. A diferença de CTT na rota FEA-FEA foi de 1 minuto com tempo médio de 61,5 minutos utilizando a lança de três furos e de 62,5 minutos utilizando a lança de quatro furos. Para a rota FEA-PTG a diferença foi de



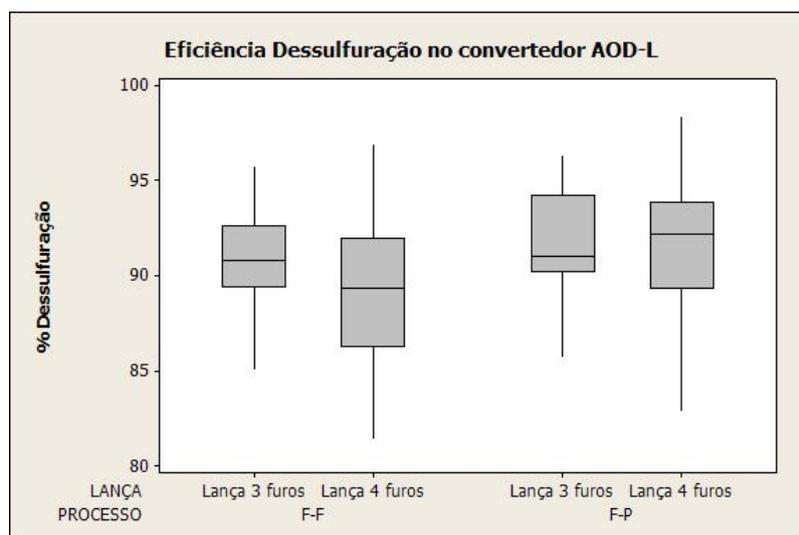
3 minutos com tempo médio de 68,5 minutos utilizando a lança de três furos e de 71,5 minutos utilizando a lança de quatro furos. O menor tempo de processo pode ser explicado pela melhor eficiência na descarburização na fase do processo de sopro com lança<sup>(4)</sup>. Para o consumo específico de oxigênio ilustrado na Figura 5 houve um maior consumo utilizando a lança de quatro furos. Para a rota FEA-FEA utilizando a lança de três furos o consumo específico foi de 53 e utilizando a lança de quatro furos foi de 53,5 Nm<sup>3</sup>/t. Para a rota FEA-PTG o consumo foi de 64 Nm<sup>3</sup>/t utilizando a lança de três furos e de 65,9 Nm<sup>3</sup>/t utilizando a lança de quatro furos. As diferenças encontradas no consumo de oxigênio também estão relacionadas à melhor eficiência de descarburização onde o oxigênio foi melhor utilizado para promover a descarburização utilizando lança de três furos. A Figura 6 ilustra o consumo de argônio que não apresentou diferença significativa entre as rotas FEA-FEA e FEA-PTG uma vez que o tempo gasto na fase de redução, onde ocorre o consumo de argônio das corridas experimentais foram semelhantes. O consumo médio de argônio na rota FEA-FEA utilizando a lança de três furos e quatro furos foram 8,4 Nm<sup>3</sup>/t e 8,6 Nm<sup>3</sup>/t respectivamente. Para a rota FEA-PTG utilizando a lança de três furos e quatro furos foi 8,4 Nm<sup>3</sup>/t e 8,5 Nm<sup>3</sup>/t.



**Figura 5** - Variação do consumo de oxigênio (Nm<sup>3</sup>/t) utilizando a lança de três e quatro furos na rota FEA-FEA e FEA-PTG no aço P304A.



**Figura 6** - Variação do consumo de argônio (Nm3/t) utilizando a lança de três e quatro furos na rota FEA-FEA e FEA-PTG no aço P304A.

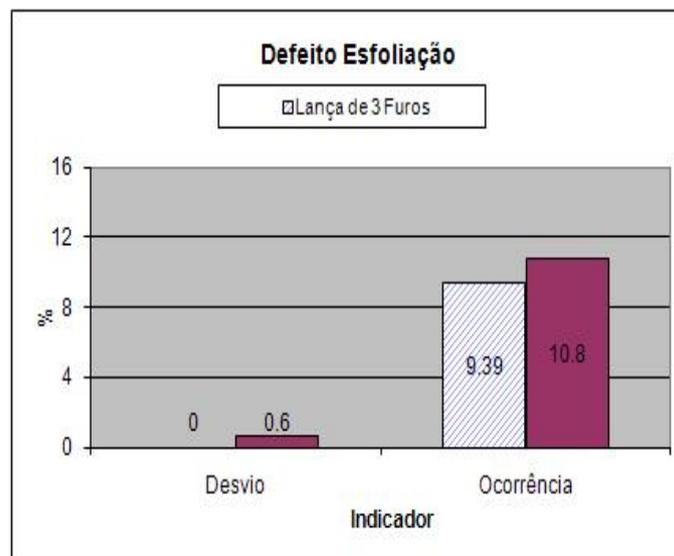
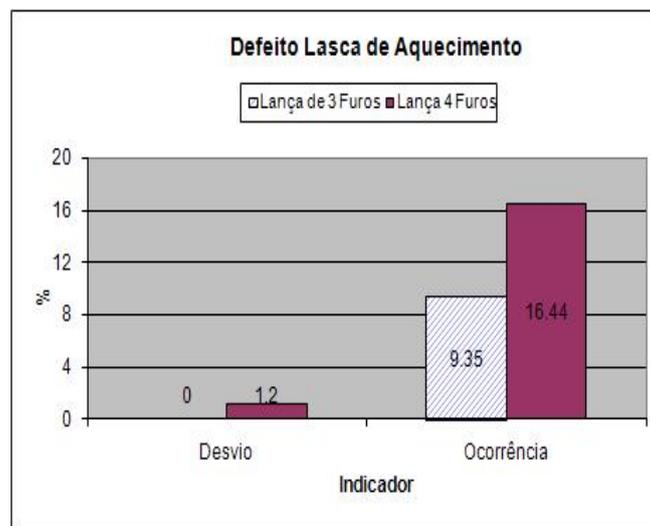


**Figura 7** - Eficiência de dessulfuração no convertidor AOD-L utilizando lança de três e quatro furos para as rotas FEA-FEA e FEA-PTG.

A eficiência de remoção de enxofre durante o processo no convertidor AOD-L também apresentou uma melhora utilizando a lança de três furos comparado com a lança de quatro furos. A eficiência média de remoção de enxofre na rota FEA-FEA utilizando a lança de três furos foi de 91% e para a lança de quatro furos foi de 89%. Para a rota FEA-PTG utilizando a lança de três furos obteve-se índice de remoção de enxofre de 92% e de 91% utilizando a lança de quatro furos. A melhor eficiência de remoção de enxofre esta associada à menor oxidação do cromo. Maior formação de  $Cr_2O_3$  esta associada ao potencial de oxigênio da escoria que em menor quantidade significa um menor percentual de oxigênio da escoria que favorece a dessulfuração.<sup>(5)</sup> Os indicadores de qualidade utilizados como critério para continuidade dos testes experimentais foram avaliados e estão ilustrados na Figura 8. Pelos resultados



apresentados observa-se uma redução significativa nos principais defeitos observados no aço P304A lasca de aquecimento e esfoliação. Para o defeito lasca de aquecimento houve redução de 7,09 pontos percentuais na ocorrência do defeito e 1,2 nos índices de desvio. Para o defeito esfoliação foi observado redução de 1,4 para o índice de ocorrência e 0,6% nos índices de desvio. Os resultados de esfoliação gerado pela presença de inclusões no aço estão diretamente relacionados à oxidação do banho que no caso da experiência utilizando a lança de três furos foi menor. O defeito lasca de aquecimento que também apresentaram redução significativa utilizando a lança de três furos esta associada à melhor dessulfuração do aço uma vez que teores mais elevados de enxofre no aço favorece a formação de sulfetos de níquel que tem relação direta com o defeito lasca de aquecimento.<sup>(5)</sup>



**Figura 8** - Evolução do desvio e ocorrência do defeito lasca de aquecimento e esfoliação utilizando lança de 3 e 4 furos.



## 4 CONCLUSÕES

O desempenho do processo utilização a lança de 3 furos nas corridas experimentais se mostrou efetivo, neste trabalho mensurado através das variáveis respostas selecionadas. Os resultados obtidos estão em concordância com a teoria em que a combinação do fluxo de gases da lança de topo e ventaneiras no caso específico do convertedor AOD-L é fundamental para uma melhor descarburização e melhor desempenho geral do processo.

Houve redução significativa no tempo de processo das corridas utilizando lança de três furos nas rotas FEA-FEA e FEA-PTG que esta alinhada com uma melhor desempenho no processo de descarburização. Para os itens relacionados à oxidação do banho medido pela relação de consumo de FeSi/buid-up observa-se um melhor desempenho utilizando a lança de três furos porém em maiores proporções para a rota FEA-FEA comparado à rota FEA-PTG. O consumo de oxigênio apresentou redução quando foi utilizado a lança de três furos relacionado também à melhor eficiência de descarburização durante a etapa de sopro com lança. O consumo de argônio não apresentou diferenças significativas uma vez que a utilização deste gás esta concentrado na fase de redução que não apresentou diferenças. Os resultados de qualidade avaliado nas corridas experimentais utilizando lança de 3 furos apresentaram melhorias e demonstram coerência com a teoria em que o desvios estão relacionados com a oxidação do banho.

## Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem à diretoria da ArcelorMittal Inox Brasil, ao gerente da aciaria Max Damázio, à equipe de controle de processo do convertedor AOD-L, às equipes operacionais do convertedor AOD-L, à equipe de metalurgia de aço inox, à empresas IMPACT gmbh pelo apoio no desenvolvimento do bico de lança utilizado neste trabalho, aos professores do curso de pós graduação de engenharia Metalurgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais e os funcionários do Demet pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- 1 BJURSTRÖM, M. et al. Physical-modeling study of fluid flow and gas penetration in a side-blown AOD converter. *ISIJ Int.*, v.46, n. 4, p.523-9, 2006.
- 2 WEI, J.; et al. Physical Modeling Study on Combined Side and Top Blowing AOD Refining Process of Stainless Steel: Fluid Mixing Characteristics in Bath. *ISIJ Int.*, v.50, n.1, p.26-34, 2010.
- 3 Oliveira, R, P. Desenvolvimento do Processo de Sopro com Lança de 3 Furos no Convertedor AOD-L da ArcelorMittal Inox Brasil. Belo Horizonte: UFMG, 2011. (M.Sc., Metalurgia Extrativa).
- 4 Li, D.; Chi, H.; Shao, S. The Analysis of the Blowing Process with the Top Lance of the Argon Oxygen Decarburization (AOD) in BAosteel. *Materials Science Forum*. Vols. 561-565. P.1039-1042, 2007.
- 5 SARTORY, D,F,F. Curso de Formação de Aciaristas – Modulo AOD. ArcelorMittal Inox Brasil, Curso interno direcionado para os funcionarios da ArcelorMittal Inox Brasil. p.1-72, 2008.