

# AUMENTO DO SEQUENCIAL DE DISTRIBUIDOR EM AÇOS ULTRA BAIXO CARBONO ESTABILIZADOS AO TITÂNIO NA ARCELORMITTAL AÇOS PLANOS AMÉRICA DO SUL\*

Carlos Alberto Perim<sup>1</sup>  
Fabiano Almir Barbosa<sup>2</sup>  
Bruno Rodrigues Henriques<sup>3</sup>  
Pallava Kaushik<sup>4</sup>

## Resumo

Devido à obstrução no distribuidor, os aços ultra baixo carbono estabilizados ao titânio apresentavam baixo sequencial de lingotamento na ArcelorMittal Tubarão (AMT). Foram identificadas práticas utilizadas na redução de obstrução nestes aços, que foram adotadas para a produção na AMT. Uma das práticas foi estabelecer uma relação entre alumínio e titânio com menor propensão à formação de compostos de alumina e óxido de titânio que se aglomeram na região da válvula superior do distribuidor. Também foram introduzidas melhorias no processo visando a melhorar a condição de fluxo na região próxima da saída do aço no distribuidor. Neste projeto, um aço UBC de maior volume de produção foi escolhido e novas práticas foram adotadas para sua produção. Amostras de aço foram retiradas de corridas produzidas nesta condição e foram enviadas para análise na ArcelorMittal Research USA. Os resultados mostraram melhorias nos índices de qualidade tanto em laminados a quente como em laminados a frio. Neste trabalho será apresentado um resumo das ações adotadas na AMT, que resultaram em um aumento do sequencial médio de distribuidor, permitindo atingir um máximo de 18 corridas. Os níveis de esfoliação com esta nova prática atingiram também nível mínimo histórico.

**Palavras-chave:** Obstrução; Lingotamento contínuo; Distribuidor.

## IMPROVING TUNDISH SEQUENCE LENGTH OF IF-TiSULC STEEL GRADES AT ARCELORMITTAL FLAT SOUTH AMERICA

### Abstract

With the aim of improving castability and increasing sequence length of IF steel grades at ArcelorMittal Tubarão, some practices and process modifications were carried out in both steel refining and casting areas. The relationship between Aluminum and Titanium with lower tendency of clogging was improved. A titanium stabilized ultra-low carbon steel with higher production volume was chosen to start the tests. Altogether, new practices were adopted for production. Steel samples were taken from heats produced under this new condition and have been sent for analysis at ArcelorMittal Research USA. The quality was monitored, and it was observed improvements in quality index in both hot-rolled and cold-rolled products. In this work it will be presented a summary of actions taken at ArcelorMittal Tubarão, which resulted in an increase in the average sequential tundish length for IF steels. The sliver index with this new practice also hit historic low level.

**Keywords:** Clogging; Continuous casting; Tundish.

<sup>1</sup> Metallurgical Engineer, M. Sc., Steelmaking Engineer, ArcelorMittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Metallurgical Engineer, M.Sc., Quality Control Engineer, AM Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Metallurgical Engineer, M. Sc., Steelmaking Process Engineer, AM Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Metallurgical Engineer, Ph. D., ArcelorMittal Global R&D, East Chicago, IN, USA.

## 1 INTRODUÇÃO

Entende-se por obstrução todo o processo de bloqueio do fluxo de aço líquido que prejudique a alimentação do molde no lingotamento contínuo. Como resultado da obstrução, ocorre uma diminuição deste fluxo, ou mesmo sua interrupção.

Em seu estágio inicial, a obstrução acarreta em perda de produtividade, podendo também causar variações anormais no nível do molde, turbulência excessiva, com reflexos sobre a qualidade da placa. Caso a obstrução não seja liberada ou removida, o lingotamento no (s) veio (s) pode ser interrompido. As obstruções têm diversas causas associadas à sua formação [1].

De forma geral, Thomas [1] descreve quatro tipos de obstrução, cada uma com origem diferente, sendo que na prática elas podem ser devido à combinação de um ou mais dos tipos identificados. Na classificação proposta por ele, são distintos os produtos de desoxidação, acúmulo de aço solidificado, óxidos complexos e produtos de reação.

### 1.1 Aglomeração de Produtos de Desoxidação

São acúmulos de produtos de desoxidação (e.g. alumina, óxidos de titânio, zircônio, etc.) que são observados nas válvulas, que apresentam o mesmo tamanho e composição dos encontrados no molde (tipicamente de 1 a 20 micra). A matriz de óxidos aglomerados pode ou não apresentar aço em seu interior.

### 1.2 Acúmulo de Aço Solidificado

Quando o superaquecimento é baixo, e a transferência de calor do fluxo de aço líquido é alta para as paredes refratárias, o aço pode congelar dentro das válvulas refratárias, como no caso de partida de máquina, se o preaquecimento é inadequado.

### 1.3 Aglomeração de Óxidos Complexos

Obstruções contendo materiais não metálicos e que não são resultantes de desoxidação têm sido observadas na área de saída da válvula submersa, e cuja composição química indica uma combinação de fluxante com partículas de desoxidação. Acredita-se que o fluxante é sugado para esta região devido a padrões de circulação do aço líquido em algumas condições de processo e devido à tendência do fluxante cobrir a válvula. Uma vez dentro da válvula, o fluxante assimila partículas de desoxidação, o que por sua vez aumenta a obstrução. Obstruções contendo sulfetos e aluminatos de cálcio também estão presentes em algumas corridas tratadas com cálcio.

### 1.4 Acúmulo de Produtos de Reação

Obstruções com a composição de produtos de desoxidação, mas depositado em camadas, ao invés de um aglomerado de partículas sinterizadas, foram também observadas. Este acúmulo tem sido atribuído a reações entre os desoxidantes e:

- 1) ar sugado para a válvula devido à pressão negativa ou porosidade da mesma;
- 2) oxigênio liberado pelo aço devido à menor temperatura adjacente à válvula; e
- 3) oxigênio gerado pela redução de refratários de sílica.

A formação de pequenas inclusões em aços acalmados ao alumínio é de especial interesse para as siderúrgicas, uma vez que um grande volume destas partículas no aço líquido podem representar desafios para a produção e qualidade dos produtos [2,3]. Este problema se agrava ainda mais em aços estabilizados ao titânio, utilizados em materiais que requeiram melhor acabamento superficial [4-7].

Este trabalho se reporta à formação de aglomerados de produtos de desoxidação do aço (óxidos de alumínio e titânio), que formam aglomerados nas regiões das válvulas. Outros tipos de produtos e causas ligadas à obstrução não serão objetos de discussão.

Também serão abordadas melhorias estabelecidas na região da válvula superior do distribuidor, visando melhorar as condições de fluxo do aço líquido nesta região. A figura 1 ilustra as regiões com maior propensão à obstrução.

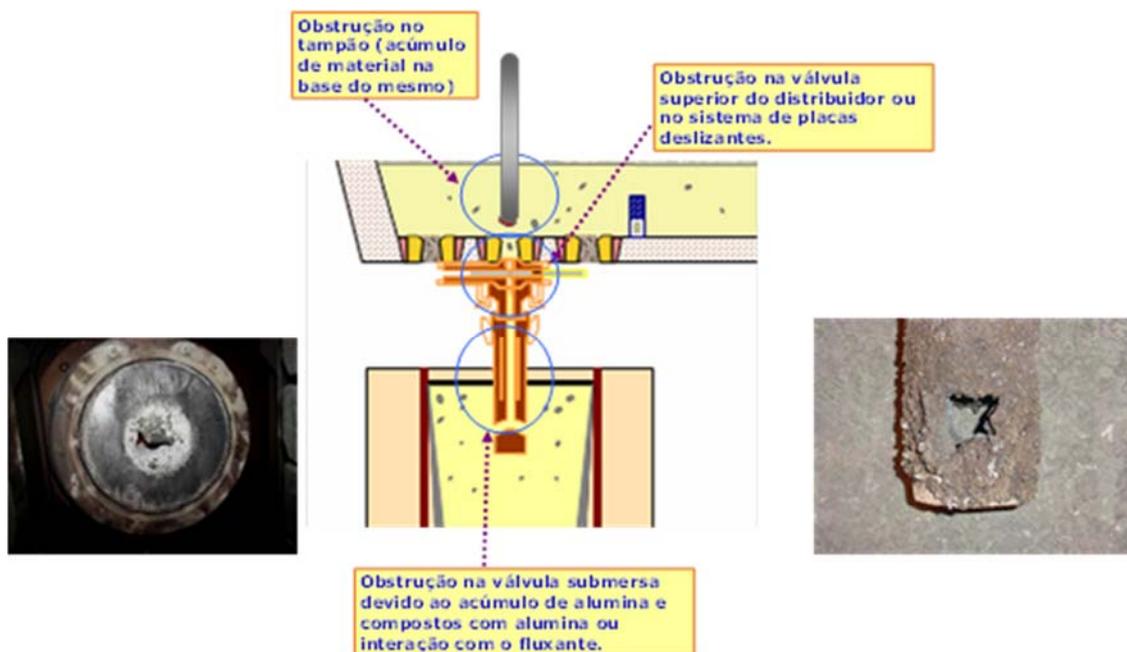


Figura 1. Regiões mais suscetíveis a ocorrência de obstrução no lingotamento contínuo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Aumento de Sequencial de Distribuidor

De forma a melhorar o desempenho de vida dos distribuidores com a consequente redução de custos, a AMT lançou um projeto específico visando, em uma primeira etapa, aumentar a vida dos distribuidores de 4,8 para 8,0 corridas por distribuidor.

Os aços UBC representam, historicamente, de 10 a 15% da produção dos aços da AMT. Para que este objetivo pudesse ser atingido, os aços UBC teriam de ter também seu sequencial médio aumentado, em média, de 5 para 8 corridas por distribuidor. Entretanto, os aços UBC produzidos na AMT são constituídos, em sua grande maioria, por aços IF estabilizados ao titânio. Estes aços apresentam a formação de  $TiO_2$ -Aluminatos que, por sua vez, tende a produzir filmes adicionais de aço na massa de obstrução, fazendo esta acumulação mais densa e acelerando assim a tendência à obstrução [8].

Existem diversos estudos sobre a prevenção de formação dos  $TiO_2$ -Aluminatos [9-11]. De forma geral, é importante prevenir a reoxidação do titânio através do controle adequado do nível de oxidação antes de sua adição.

## 2.2. Estabelecimento de Novas Práticas para Aços UBC-Ti

Para prevenir a formação de compostos  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ , é necessário fugir do campo de estabilidade deste composto. Desta forma, foi proposto o aumento do teor de Alumínio nos aços IF, adicionado previamente à adição de titânio. Este aumento é realizado com o objetivo de se evitar que ocorram condições de reoxidação do titânio, através de uma redução do nível de oxidação do aço (figura 2).

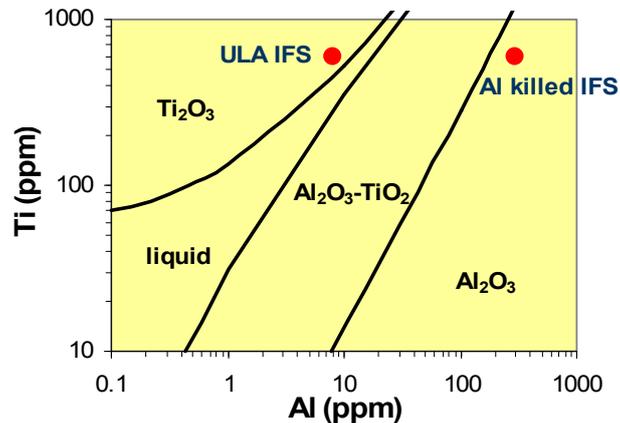


Figura 2: Diagrama de fase Al-Ti fase a 1600°C.

Numa primeira etapa, foi proposto o aumento do teor de Alumínio para um novo patamar. Foram escolhidos dois padrões de aço específicos de maior volume de produção para a execução deste aumento. A figura 3 mostra os teores de alumínio praticados na AMT em 2012 e os novos teores propostos. Esta nova faixa de alumínio foi aplicada no período entre março e outubro de 2013.

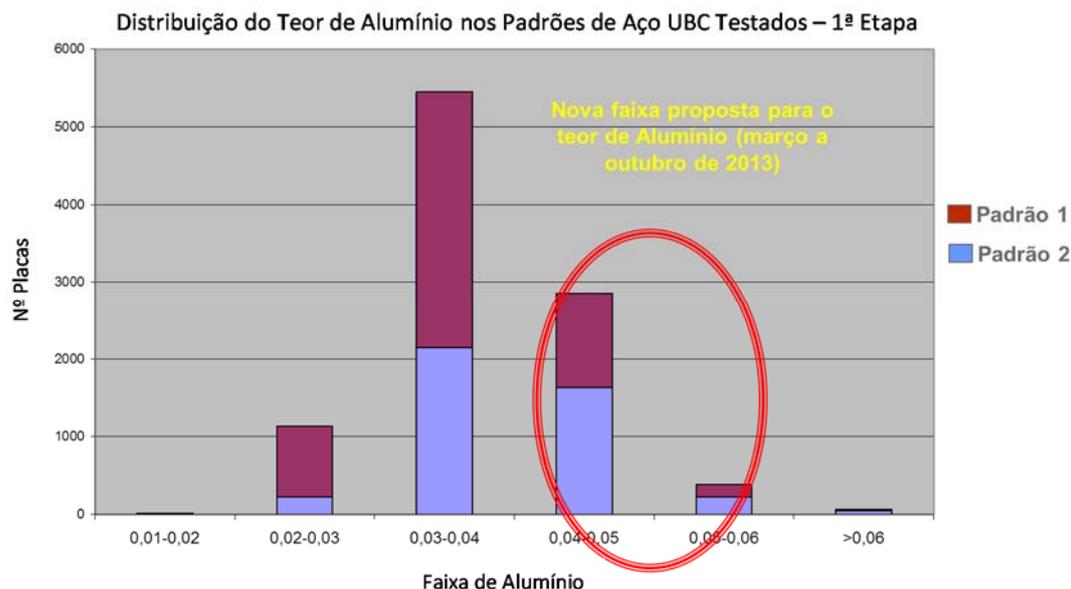


Figura 3: Faixa de alumínio proposta para a primeira fase de testes.

Em uma segunda fase, foi proposto um teor ainda mais elevado de Alumínio, conforme indicado na figura 4.

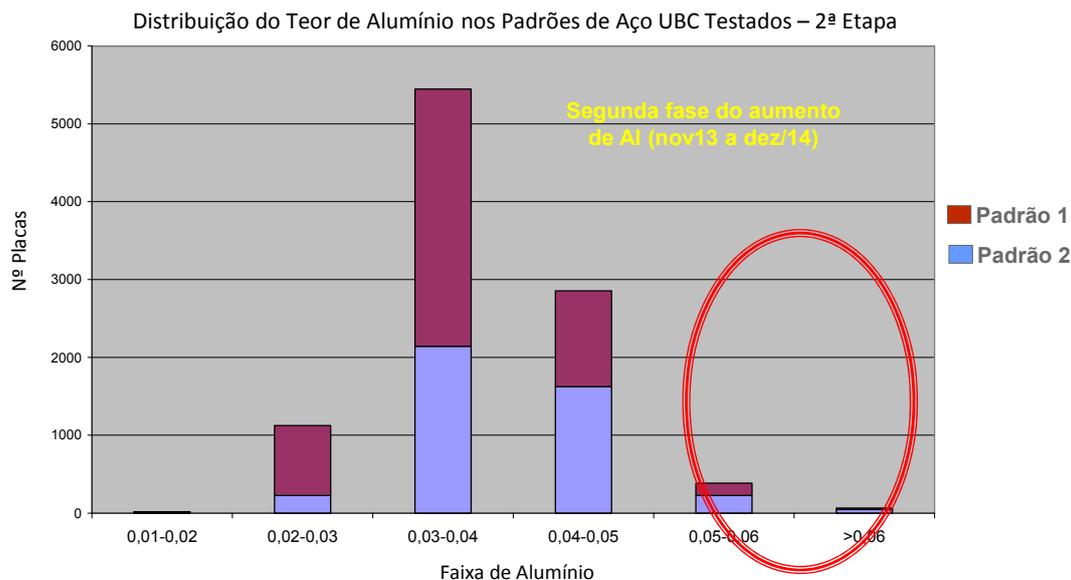


Figura 4. Proposta de aumento do teor de alumínio em aços IF-Tis (segunda fase).

### 2.3. Outras Melhorias no Processo

Visando atingir a meta proposta de 8 corridas por distribuidor, também foram tomadas diversas outras melhorias na região da válvula superior do distribuidor, onde estão concentradas as obstruções na AMT.

Uma melhoria a destacar se refere ao acabamento da região do fundo do distribuidor, adjacente à válvula superior do distribuidor (figura 5). Esta região, devido ao formato de seu acabamento e projeto do tijolo sede, permitiu que o ângulo de acabamento da massa refratária fosse aumentado. Esta melhoria foi tomada concomitantemente com o aumento do teor de Alumínio nos aços IF ao titânio.

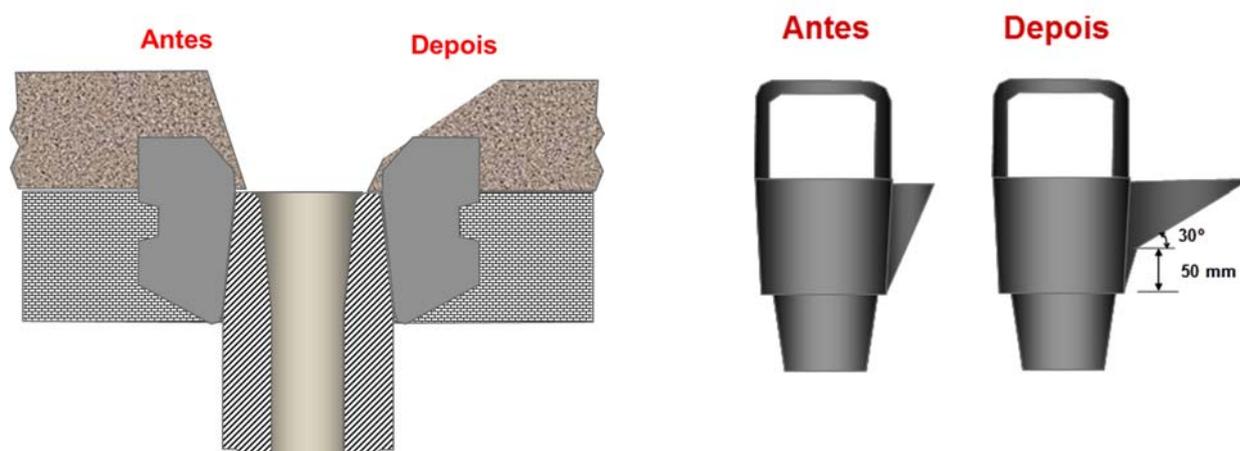
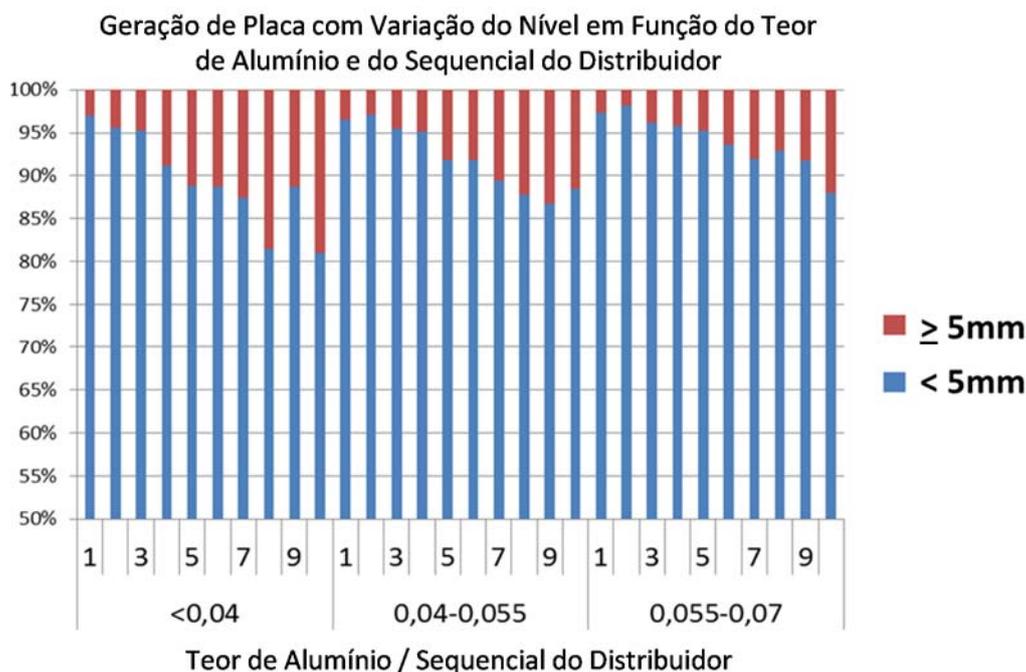


Figura 5. Melhoria do acabamento da região de saída do distribuidor nas MLC's da ArcelorMittal Tubarão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Resultados no Processo da ArcelorMittal Tubarão

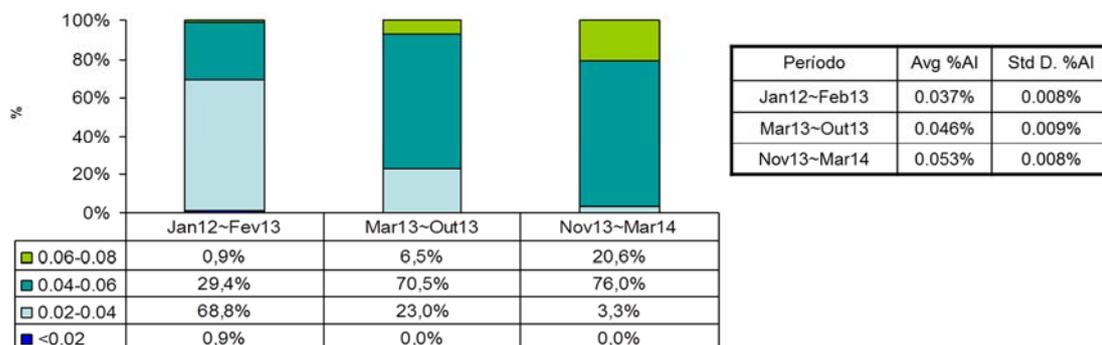
O aumento do teor de alumínio apresentou uma redução das variações de nível de molde. A figura 6 ilustra o comportamento da variação de nível do molde em três faixas distintas de alumínio, de acordo com a posição da corrida na vida do distribuidor. Os resultados, obtidos para toda a produção de aços UBC em 2014, indicam que o maior teor de alumínio conduz a prevenção da formação de  $TiO_2$ , e reduz a propensão de formação de obstruções.



**Figura 6.** Evolução da variação de nível de molde ( $\geq 5\text{mm}$ ) em função do teor de alumínio e do sequencial de distribuidor no ano de 2014.

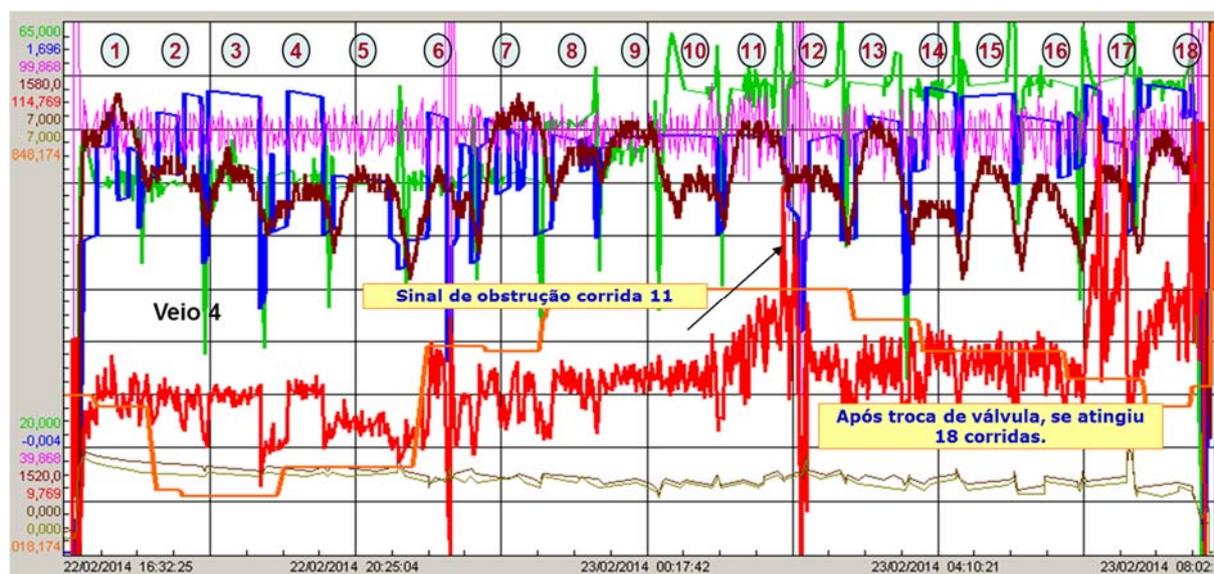
O aumento do teor de Al tem objetivado manter a relação entre o alumínio e o titânio contidos no aço maior do que 1. Até o aumento realizado na 2ª etapa, indicado na figura 4, a obtenção desta relação se mostrava somente parcial, com parte significativa dos teores de Alumínio em uma faixa inferior. Após a 2ª etapa, os teores de Alumínio se mantiveram dentro dos valores mais elevados objetivados.

## Distribuição de Alumínio - Padrão 1



**Figura 7.** Evolução da distribuição dos teores de Alumínio nos testes para aumento do sequencial de distribuidor nos anos de 2013-2014.

Em fevereiro de 2014, foi atingido pela 1ª vez um tamanho de sequencial de aços IF com 18 corridas. De forma geral, o lingotamento foi estável ao longo de quase todo o sequencial, sendo que somente as duas últimas corridas apresentaram um registro elevado de variações de nível no molde, conforme mostrado na figura 8.



**Figura 8.** Registro das variáveis de processo no lingotamento de sequencial de 18 corridas de aço IF-Tis em fevereiro de 2014.

O aumento do teor de alumínio nos aços IF-Tis, associado a outras melhorias, permitiu com que a vida média dos distribuidores aumentasse de 6,0 (2013) para 7,3 corridas por distribuidor no período 2014-2015 (figura 9).

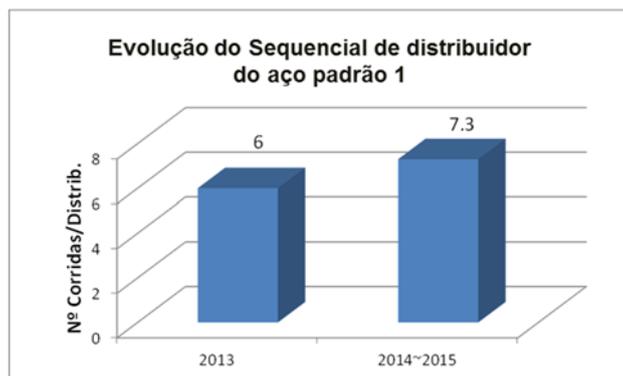


Figura 9. Aumento do sequencial de Aço IF para o aço padrão 1 (2013-2015).

### 3.2. Análise de Amostras no R&D da ArcelorMittal

Amostras de corridas que apresentaram obstrução e outras que não apresentaram foram enviadas ao R&D da ArcelorMittal em East Chicago- Indiana (USA). As amostras comprovaram que aços provenientes de corridas que apresentaram obstrução mostram níveis de inclusões maiores que as amostras sem ocorrência, conforme indicado na figura 10. O gráfico indica claramente que ocorre maior número de inclusões em amostras provenientes de corridas com obstrução em relação às corridas que não apresentaram obstrução.

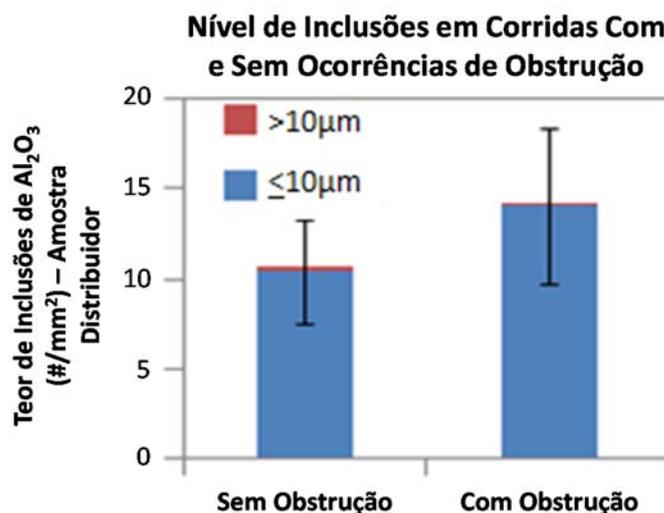


Figura 10. Contagem de inclusões entre aços IF com e sem obstrução.

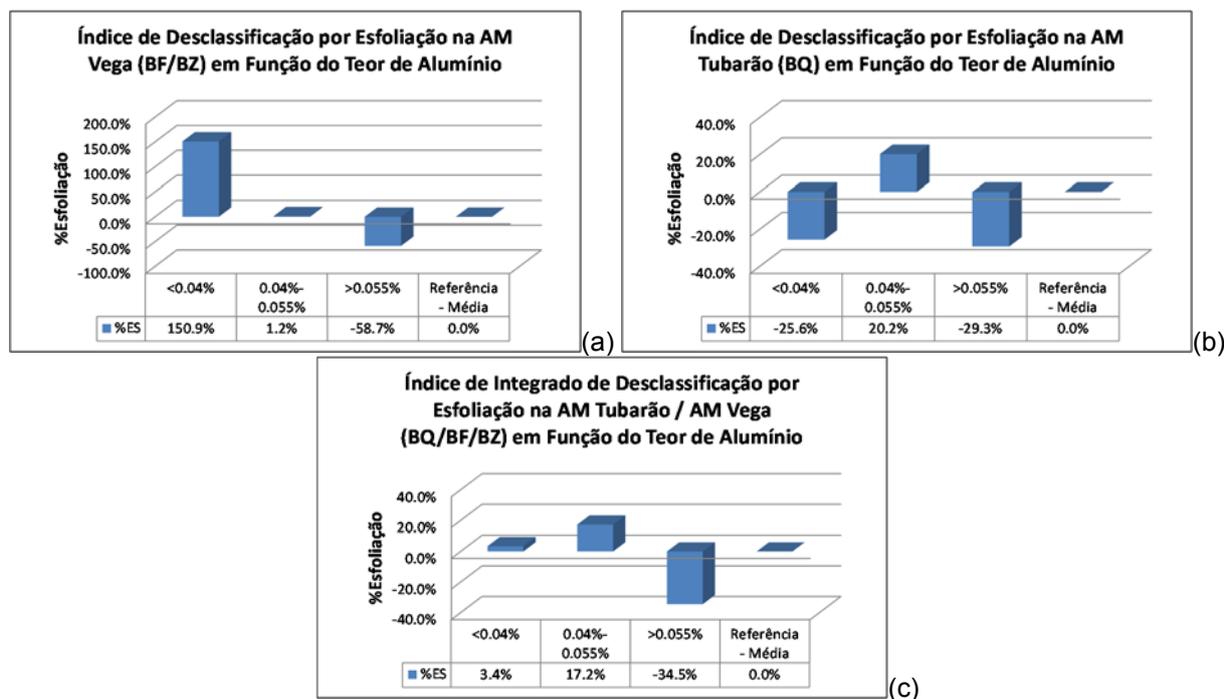
### 3.3. Avaliação da Qualidade Superficial da Bobina Associada ao Teste de Aumento do Teor de Alumínio

A esfoliação, também conhecida como “sliver”, é um defeito superficial linear que ocorre na tira de aço. Este defeito ocorre paralelo ao sentido de laminação e pode surgir em qualquer lado, face e aleatório ao longo da largura e do comprimento da tira.

Embora seja um defeito com origem predominante no processo de refino do aço e de lingotamento contínuo, também pode ter origem nos processos de condicionamento e de laminação.

Diz-se que a esfoliação tem natureza química, quando atribuída ao processo de produção do aço na aciaria, e natureza mecânica, quando atribuída ao processo de condicionamento da placa ou ao processo de laminação.

Neste trabalho, avaliou-se o impacto do aumento do teor de alumínio sobre as desclassificações de bobinas por esfoliação no laminador de tiras a quente da ArcelorMittal Tubarão e no laminador de tiras a frio e galvanização da ArcelorMittal Vega. A figura 11 apresenta os índices de desclassificação de bobinas por esfoliação em função do teor de alumínio.



**Figura 11.** (a) Índice de desclassificação por esfoliação em função do teor de alumínio em AM Vega; (b) Índice de desclassificação por esfoliação em função do teor de alumínio em AM Tubarão; (c) Índice de desclassificação por esfoliação em função do teor de alumínio integrado AM Vega / Tubarão.

Verifica-se, com base na análise da figura 11, melhores resultados de desclassificação de bobinas por esfoliação em AM Tubarão / AM Vega nas corridas que tiveram maiores teores de alumínio (faixa %Al >0.055%), o que era esperado em função dos resultados obtidos de obstrução por alumina e de variação do nível do molde.

Vale ressaltar que as desclassificações por esfoliação possuem diversas origens e diferentes causas e não somente sobre os aspectos relacionados ao impacto do aumento do teor de alumínio nas corridas. Contudo, esta prática vem nos permitindo obter resultados muito bons de esfoliação especialmente no material ultra-baixo carbono laminado a frio e galvanizado em AM Vega.

Assim, a prática de elevação do teor de alumínio proporcionou uma melhoria na qualidade superficial da placa e, conseqüentemente, acarretou em reduções dos índices de desclassificação de bobinas por esfoliação na AM Tubarão / AM Vega.

## 4 CONCLUSÃO

Foi analisado o processo de obstrução em aços UBC estabilizados ao titânio e suas origens. Uma das causas principais foi relacionada à formação de compostos complexos de  $Al_2O_3-TiO_2$ .

Para evitar a formação destas inclusões complexas, uma das alternativas é o aumento do teor de alumínio nestes aços, de forma a prevenir a oxidação do titânio durante o refino do aço;

Foram escolhidos dois graus de aços representativos da produção destes IF estabilizados ao titânio produzidos AMT e o seu teor de Alumínio foi aumentado em duas etapas;

Foram também realizadas melhorias no processo de lingotamento contínuo, para proporcionar melhor condição ao fluxo de aço líquido na região próxima da saída do distribuidor, adjacente à válvula superior;

Os testes mostraram reduções nas variações de nível no molde e propiciaram um aumento da vida média do distribuidor;

Amostras relativas a estes testes foram enviadas ao laboratório da Arcelormittal Research USA, comprovando-se melhor desempenho no nível de inclusões em aços com aumento de alumínio (sem obstrução) em relação aos aços sem este aumento (que apresentaram obstrução);

A prática de elevação do teor de alumínio proporcionou uma melhoria na qualidade superficial da placa e, conseqüentemente, acarretou em reduções dos índices de desclassificação de bobinas por esfoliação na AM Tubarão / AM Vega.

A vida média do distribuidor para os aços onde foi realizado o aumento de alumínio elevou-se de 5,5 corridas por distribuidor em 2012 para 7,3 corridas por distribuidor em 2014~2015, sendo atingida uma sequência máxima de 18 corridas em um mesmo distribuidor.

## REFERÊNCIAS

- 1 Rackers, K., and B.G. Thomas. Clogging in Continuous Casting Nozzles. 78th Steelmaking Conference Proceedings, Nashville, TN, April 2, 1995, Iron and Steel Society, Warrendale, PA, Vol. 78, 1995, pp. 723-734
- 2 S. R. Story, S. M. Smith, R. J. Fruehan, G. S. Casuccio, M. S. Potter and T. L. Lersch, "Application of Rapid Inclusion Identification and Analysis", AISTech Conference Proceedings, Nashville, USA, 2004, pp. 1147-1156.
- 3 S. R. Story, G. E. Goldsmith, R. J. Fruehan, G. S. Casuccio, M. S. Potter and D. M. Williams, "Study of Casting Issues using Rapid Inclusion Identification and Analysis", AISTech Conference Proceedings, Cleveland, USA, 2006, pp. 879-889.
- 4 F. Haers et. al., "First Experience in Using the Caster Tube Change Device (TCD90)", Fourth International Conference on Continuous Casting, 1988.
- 5 G. C. Duderstadt, R. K. Iyengar, and J. M. Matesa, "Tundish Nozzle Blockage in Continuous Casting", Journal of Metals, April 1968, pp. 89-94.
- 6 B. Hoh et. al., "Improvement of Cleanliness in Continuous Casting", Fourth International Conference on Continuous Casting, 1988.
- 7 M. Byrne, T. W. Fenicle, and A. W. Cramb, "The Sources of Exogenous Inclusions in Continuous Cast, Aluminum-Killed Steels", ISS Transactions, Vol. 10, 1989, pp. 51-60.
- 8 P, Kaushiki et all. Improving the Castability and Increasing the Sequence Length of IF-TiSULC Steel Grades at ArcelorMittal Lazaro Cardenas and Tubarao. Submitted to AISTECH 2015 (to be presented).



- 9 A. Jungreithmeier, E. Pissenberger, K. Burgstaller and J. Mortl, "Production of ULC-IF Steel Grades at Voestalpine Stahl GmbH, Linz", ISSTech Conference Proceedings, Indianapolis, USA, 2003, pp. 227-240.
- 10 S. R. Story, G. E. Goldsmith and G. E. Klepzig, "Study of Cleanliness and Castability in Ti-Stabilized Ultra-Low Carbon Steels using Automated SEM Inclusion Analysis", Clean Steel 7, Proceedings of 7th International Conference on Clean Steel, Balatonfured, Hungary, 2007, CD-ROM.
- 11 M-A. Van-Ande, M. Guo, R. Dekkers, M. Burty, J. Van-Dyck, P. T. Jones, B. Blanpain, and P. Wollants, "Formation and Evolution of Al-Ti Oxide Inclusions during Secondary Steel Refining", ISIJ International, Vol. 49, No. 8, 2009, pp. 1133-1140.