



## DESENVOLVIMENTO DO TUBO INSERTADO PARA O FORMADOR DE ESPIRAS DO LAMINADOR 2 DA ARCELORMITTAL MONLEVADE\*

*Carlos Henrique Silveira Aguiar<sup>1</sup>*

*Geraldo Ailton Fonseca<sup>2</sup>*

*Marcos Roberto Guimarães<sup>3</sup>*

### Resumo

O tubo formador de espiras é uma guia que está localizada no Laying Head, especificado de acordo com a norma ASTM 335P22, e tem por função conformar o fio-máquina na forma de espiras sobre o transportador Stelmor. O Laying Head gira continuamente, durante a operação normal, sendo que a cada revolução do tubo, uma espira é produzida, cujo diâmetro é determinado pelo raio final do tubo e pela velocidade do Laying Head, em relação à velocidade do Laminador. Estes tubos, durante a laminação dos aços BEXX, sofrem um desgaste acentuado, que é provocado pela carepa formada durante a passagem do fio máquina pelas caixas d'água, durante o processo de resfriamento. Desta forma, torna-se necessário trocá-los a cada 200t laminadas do referido aço, com tempo estimado de 30 minutos de parada. Além disso, há um desgaste físico acentuado na atividade de troca dos tubos, que coloca em risco a segurança dos funcionários. Outro efeito indesejável relaciona-se com o risco de ocorrência de sucata de linha, provocada pelo rasgamento do tubo, quando são fornecidos tubos cuja composição química se apresenta no limite inferior de especificação. Há programa de laminação que exige até 6 trocas diárias de tubo. Com a proposta de se incrementar a tonelagem laminada por canal dos discos de laminação do Bloco No Twist, tornou-se necessário desenvolver um tubo com inserts de metal duro, com vistas a aumentar a vida útil dos mesmos, como também a produtividade do Laminador 2.

**Palavras-chave:** Produtividade; Desgaste; Inserto.

### INSERTED LAYING PIPE DEVELOPMENT TO THE LAYING HEAD OF #2 ROLLING MILL AT MONLEVADE PLANT

#### Abstract

The lying pipe is a guide which is assembled at the Lying Head, and it is specified in accordance to the ASTM 335P22, and it is used to form rings onto the Stelmor conveyor. The Laying Head runs continuously, during the normal process operation, and each pipe revolution produces a ring, whose diameter is determined by both the final laying pipe diameter and the Laying Head speed, in relation to the Rolling Mill speed. A wear has occurred inside these pipes during the BEXX rolling process, which is caused by the ring scale which is formed during the wire rod cooling process at the water boxes. So it is necessary to replace the lying pipe after rolling 200t of this kind of steel that demands a 30 minutes rolling mill shut down for developing this activity. Furthermore, there is an accentuated physical effort during the lying pipes replace, which puts the workers under accident risk. Another undesirable effect is related to the risk of cobble occurrence, when the Laying Head has its laying pipe torn up by the wire rod scale, when the pipes are supplied with the chemistry composition at the bottom of the ASTM335P22 specification. These abnormalities have occurred specifically during the rolling process of the 5,5mm and 6.5mm diameters. This project became a priority due to the necessity of increasing the groove tonnage of the NTM carbide disks, as well as the lying pipe tonnage that will lead to the increment of the #2 Rolling Mill productivity. Sometimes, the rolling schedule needs until 6 pipes diary replacement.

**Keywords:** Productivity; Wear; Insert.

<sup>1</sup> *Rolling Process Technician Coordinator, ArcelorMittal Monlevade, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.*

<sup>2</sup> *Guide Shop Mechanic, ArcelorMittal Monlevade, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.*

<sup>3</sup> *Shift Production Supervisor, ArcelorMittal Monlevade, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.*

\* *Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.*



## 1 INTRODUÇÃO

O laminador 2 de fio máquina da ArcelorMittal Monlevade iniciou suas atividades no ano de 1989, sendo equipado com um Formador de Espiras que pode operar a 100m/s, durante a laminação das bitolas de 5,5mm e 6,5mm. Dentre os materiais produzidos nesta gerência, está a família dos aços BExx, produzido na bitola de 5.5mm, que reduz a produtividade do laminador, uma vez que esses materiais provocam um desgaste acentuado no tubo formador de espiras, podendo causar o seu rasgamento, e ainda gerar sucata. O mesmo efeito ocorre durante o processamento da bitola de 6,5mm, qualquer que seja o material laminado. Por causa desse desgaste, o processo produtivo é interrompido a cada 200ton, para que seja feita a sua substituição, aumentando o índice de parada do laminador e o custo de produção. Além disso, a velocidade de laminação é limitada a 90m/s, pois se acredita que numa velocidade mais alta a anomalia é favorecida. Outro fator agravante relaciona-se tanto com a necessidade de mão-de-obra excessiva para a preparação dos tubos, prejudicando a rotina da Oficina de Apoio do laminador, quanto com a segurança dos funcionários envolvidos na atividade de troca do tubo. Enfim, com a redução das trocas, a equipe estará mais motivada devido ao fluxo ininterrupto da laminação.

O fluxo produtivo do laminador permanece o mesmo, bem como a localização do Formador de Espiras, como estão apresentados na figura 1:

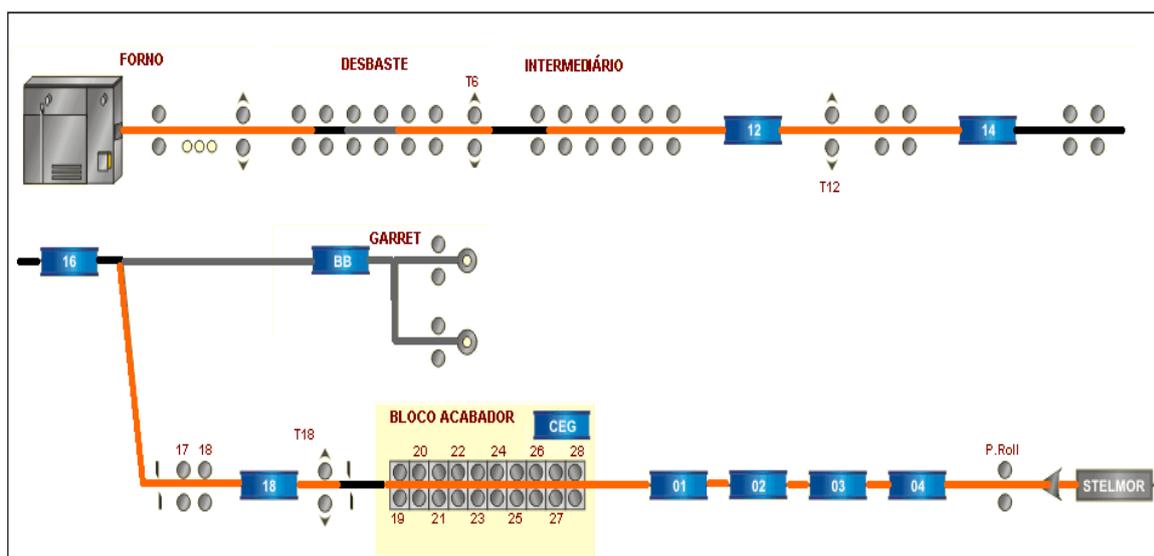


Figura 1. Lay out do Laminador 2

O tubo é montado no Formador de Espiras e tem como principal função conformar o fio-máquina em espiras, a uma temperatura de 900° C. A câmara do Formador de Espiras recebe um resfriamento, composto de uma mistura de ar e água (névoa), enquanto o material passa pelo interior do tubo, durante o processo de conformação das espiras, como está mostrado nas figuras 2, 3 e 4.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



**Figura 2.** Resfriamento da câmara com a mistura ar e água. **Figura 3.** Ponto de saída do fio máquina no tubo, na formação das espiras. Ponto de saída do fio máquina. **Figura 4.** o processo de formação das espiras. O fio passa pelo tubo a 90m/s.

Após cada campanha de 200 t, os tubos passam por um controle dimensional da parede, cujo objetivo é identificar o desgaste sofrido durante o processo produtivo. Este desgaste se apresenta em duas posições distintas, entretanto não se apresentam com a mesma intensidade, quando comparados entre si, como está mostrado na figura 3.



**Figura 3.** Posições nas quais o desgaste ocorre e onde é feito o controle dimensional

Além disso, o desgaste não ocorre com a mesma intensidade, quando são comparados entre tubos originados de um mesmo lote de fornecimento, e que foram utilizados na mesma sequência de laminação, conforme se observa na figura 4:

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



**Figura 4.** Amostras de tubos desgastados de um mesmo lote.

A condição mais desfavorável para a continuidade do processo produtivo se dá quando o desgaste ocorrido no tubo provoca o seu rasgamento (figura 5), gerando a sucata de linha, e que poderá elevar em até cinco vezes o tempo previsto para a troca do mesmo.



**Figura 5.** Amostra de tubo rasgado, como consequência de desgaste.

O tubo especificado no projeto do laminador é fabricado de acordo com a norma ASTM A335P22, que define os tubos de fabricação em aços ferríticos, sem costura que são utilizados em alta temperatura. Entretanto, sabe-se que há laminadores os quais utilizam outras especificações, conforme a Figura 6.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



Composição Química	10CrMo910	UNS S31803 (ASTM A789)	UNS S32750 (ASTM A790)	ASTM A335 P22	ASTM A335 P9
%S	0,003	0,015	0,015	0,025	0,025
%C	0,118	0,03	0,03	0,05 - 0,15	0,05 - 0,15
%Mn	0,455	2	1,2	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6
%P	0,023	0,03	0,035	0,025	0,025
%Si	0,259	1	0,8	0,5	0,25 - 1,00
%Cr	2,0866	22	25	1,9 - 2,6	8,00 - 10,00
N		0,18	0,3		
%Ni	0,0912	5	7		
%Mo	0,0016	3,2	4	0,87 - 1,13	0,90 - 1,10

Figura 6. Tabela de composição química dos tubos, conforme as normas de fabricação.

Estes tubos apresentam uma microestrutura formada de perlita e ferrita. Após a sua utilização no processo de formação das espiras, a microestrutura sofre uma alteração, passando a apresentar uma microestrutura martensítica, conforme foi verificado em análise metalográfica, como é mostrado na figura 7:

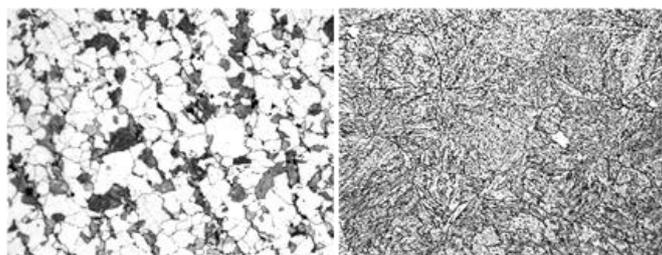
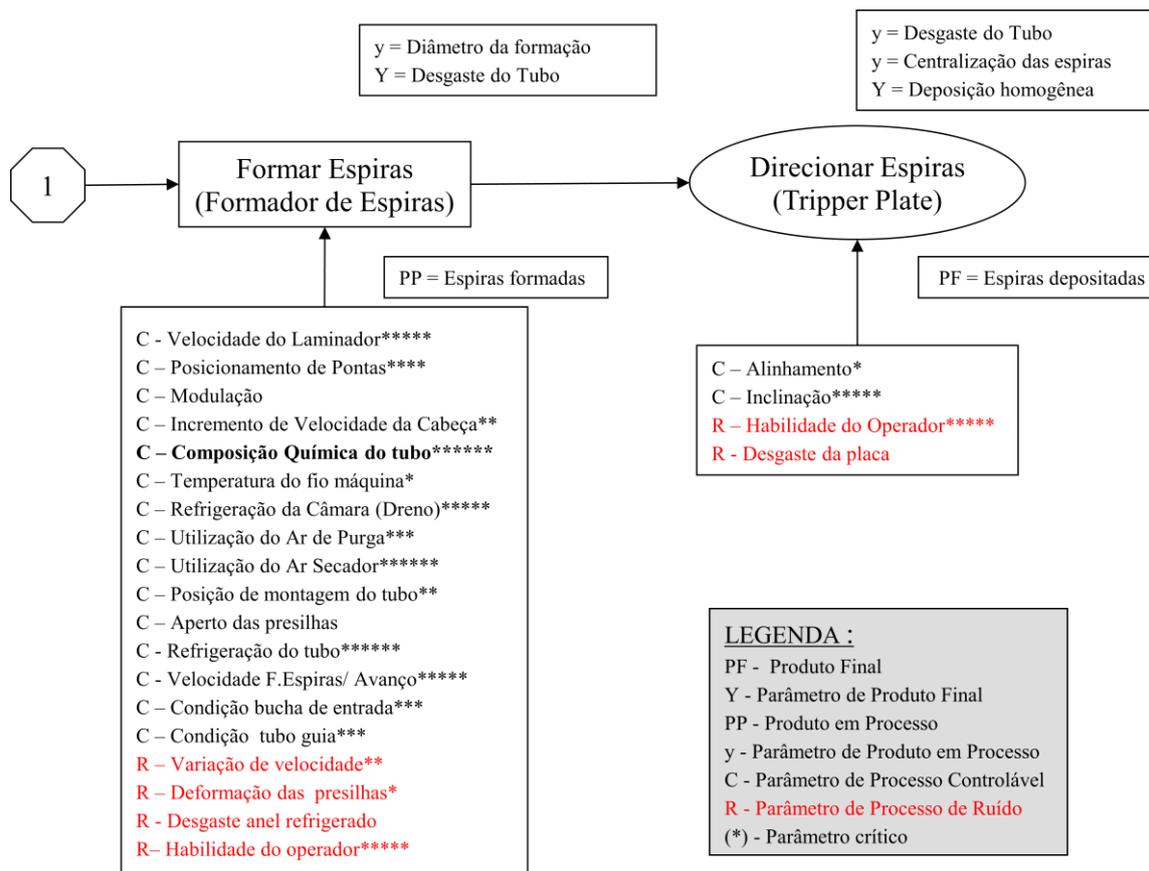


Figura 7. a) Microestrutura perlita/ferrita (tubo novo); b) microestrutura martensita revenida (tubo usado) – Seção transversal – Ataque Nital (360x)

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de se identificar as prováveis causas de desgaste dos tubos, foi elaborado um Mapa de Processo (figura 8), referente à etapa de formação das espiras, para definição dos parâmetros críticos do processo que favoreciam a ocorrência da anomalia, os quais poderiam apresentar algum impacto sobre a duração do tubo formador de espiras. Os parâmetros com potencial de impacto relevante para o problema foram identificados e destacados.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



**Figura 8.** Mapa de processo referente à formação das espiras

Assim, foi planejado um DOE (Design of Experiment), tendo como variável resposta o desgaste, para que se fizesse uma análise quantitativa, que está mostrado na figura 9:

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	TUBO	VELOCIDADE LAMINADOR	VELOCIDADE F. ESPIRAS	TRIPPER PLATE	CAIXA D'ÁGUA
15	1	1	1	ASTM A335 P22	95	1	SUPERIOR	1 E 3
2	2	1	1	UNS S32750	90	-1	NORMAL	1 E 3
9	3	1	1	ASTM A335 P22	90	-1	SUPERIOR	1 E 3
1	4	1	1	ASTM A335 P22	90	-1	NORMAL	3 E 4
14	5	1	1	UNS S32750	90	1	SUPERIOR	1 E 3
13	6	1	1	ASTM A335 P22	90	1	SUPERIOR	3 E 4
8	7	1	1	UNS S32750	95	1	NORMAL	1 E 3
12	8	1	1	UNS S32750	95	-1	SUPERIOR	1 E 3
10	9	1	1	UNS S32750	90	-1	SUPERIOR	3 E 4
4	10	1	1	UNS S32750	95	-1	NORMAL	3 E 4
16	11	1	1	UNS S32750	95	1	SUPERIOR	3 E 4
3	12	1	1	ASTM A335 P22	95	-1	NORMAL	1 E 3
5	13	1	1	ASTM A335 P22	90	1	NORMAL	1 E 3
6	14	1	1	UNS S32750	90	1	NORMAL	3 E 4
7	15	1	1	ASTM A335 P22	95	1	NORMAL	3 E 4
11	16	1	1	ASTM A335 P22	95	-1	SUPERIOR	3 E 4

**Figura 9.** Planejamento do DOE

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o resultado apresentado no Pareto dos Efeitos (figura 10), após o desenvolvimento do experimento, foi verificado que há fatores significantes, bem como a existência de interações entre os mesmos.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

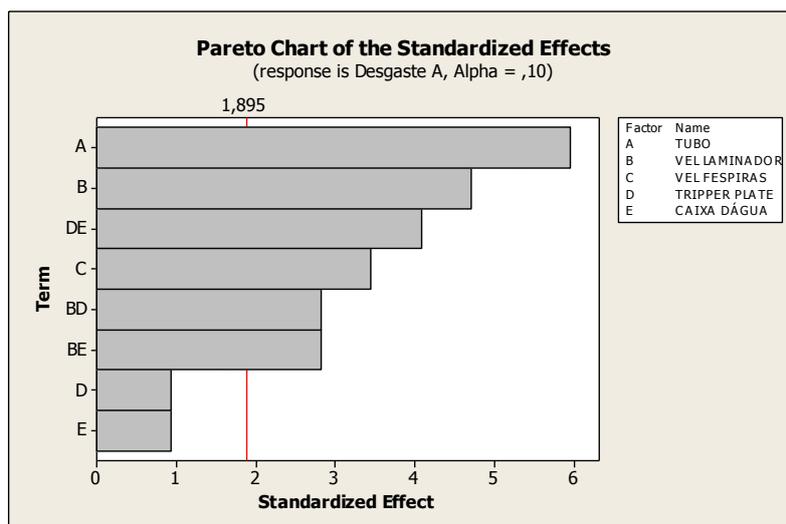


Figura 10. Planejamento do DOE

### 3.1 Análise da Significância Apresentada pelos Fatores Testados

Através do Gráfico dos Efeitos principais (figura 11), pode-se concluir que o tipo de tubo apresenta significância, já que os tubos ASTM A335P22 sofreram um desgaste de menor intensidade que os UNS S32750, apesar de sua composição apresentar menores teores de cromo e molibidênio. Além disso, a velocidade do Formador de Espiras (fator C) também tem significância na ocorrência do desgaste, sendo a melhor condição de trabalho operar com a velocidade deste equipamento acima da velocidade de laminação.

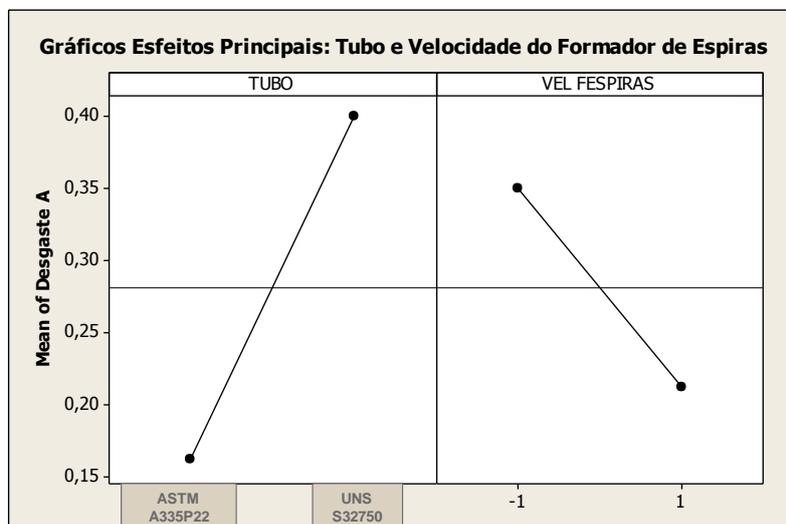


Figura 11. Gráfico dos efeitos principais dos fatores A e C

### 3.2 Análise dos Efeitos das Interações entre Fatores

#### 3.2.1 Interação BD: velocidade do laminador (B) e posição da tripper plate (D)

A análise da interação entre estes dois fatores (figura 12) mostra que o desgaste se apresenta em menor escala quando o laminador é operado a uma velocidade 90m/s, com a tripper plate utilizada na posição superior.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

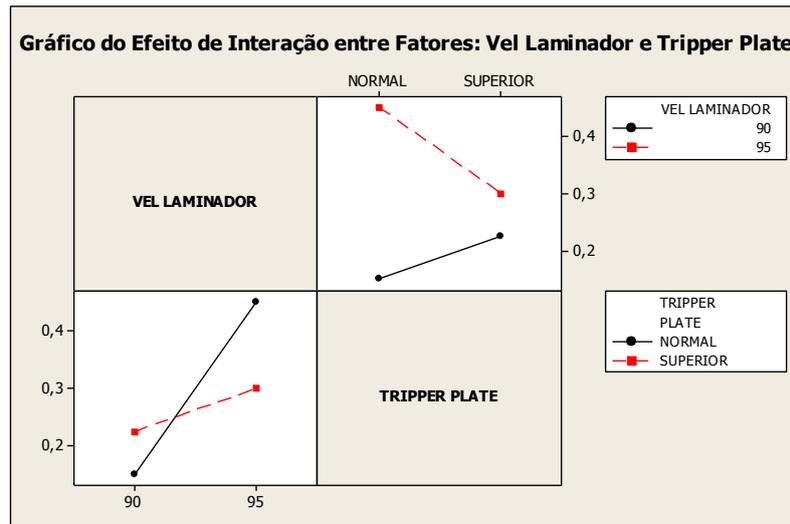


Figura 12. Gráfico dos efeitos principais dos fatores A e C

### 3.2.2 Interação BE: velocidade do laminador (B) e Caixas d'água em uso (E)

Nesta interação (figura 13), o desgaste foi de menor intensidade durante a operação do laminador utilizando-se das caixas de resfriamento 1 e 3, associada à velocidade de laminação de 90m/s.

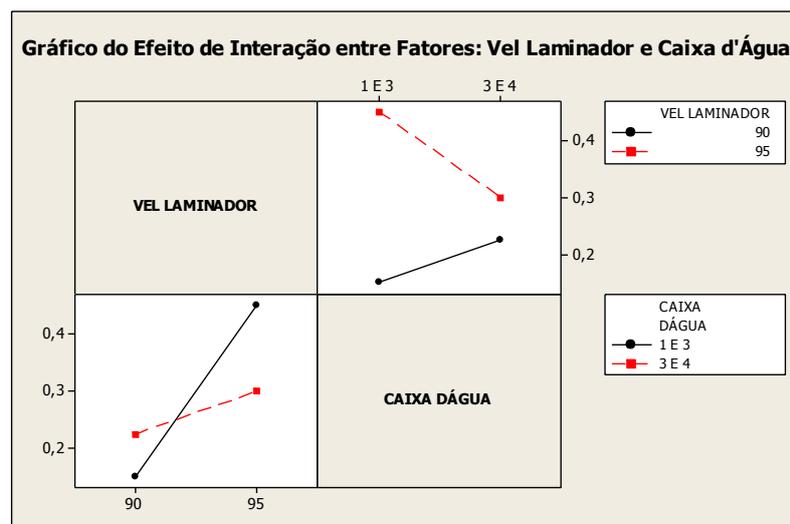


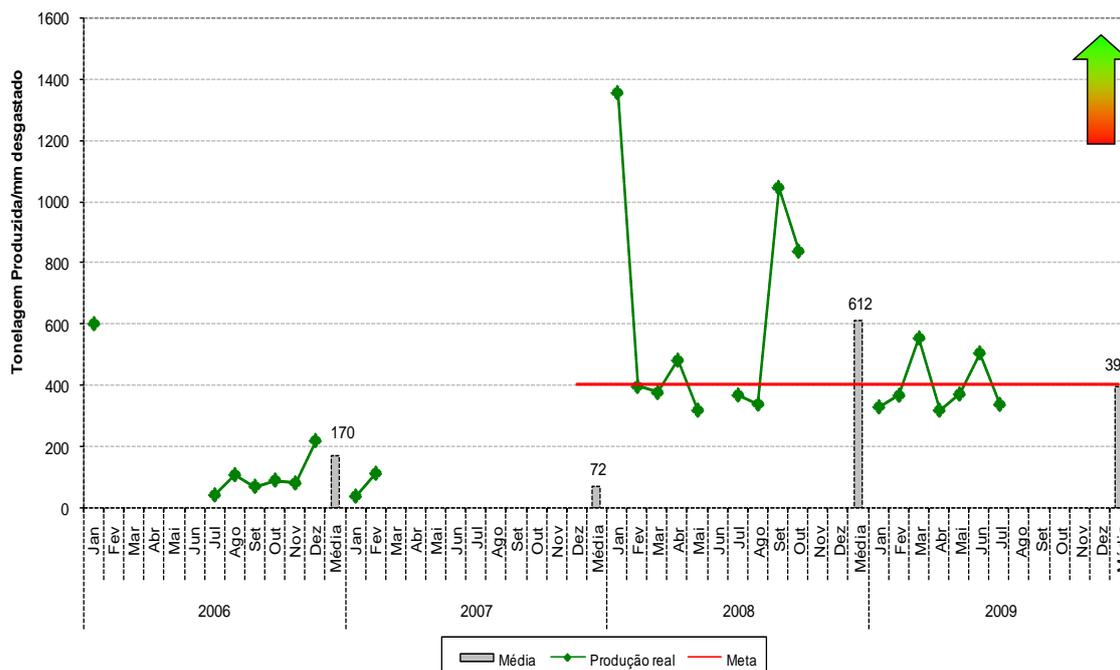
Figura 13. Gráfico dos efeitos principais dos fatores A e C

Pela análise dos resultados do experimento, conclui-se que a condição de trabalho mais favorável para que não ocorra o desgaste do tubo seria: utilizar os tubos ASTM335P22; operar com a velocidade do Laminador a 90m/s e com o avanço do Formador de Espiras positivo; trabalhar com a tripper plate na posição superior e utilizar as caixas de resfriamento 1 e 3.

Entretanto estas condições não foram suficientes para aumentar a tonelagem das campanhas dos tubos formadores de espiras (figura 14), uma vez que era necessário um desempenho de 400t laminadas por mm desgastado.

A partir deste resultado foi proposto o desenvolvimento de um tubo insertado, visando o aumento da produtividade, sem necessidade de troca sistemática para evitar o desgaste excessivo e, conseqüentemente, as ocorrências de sucata, permitindo associar as trocas dos tubos com as dos discos de laminação do Bloco Acabador No Twist.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



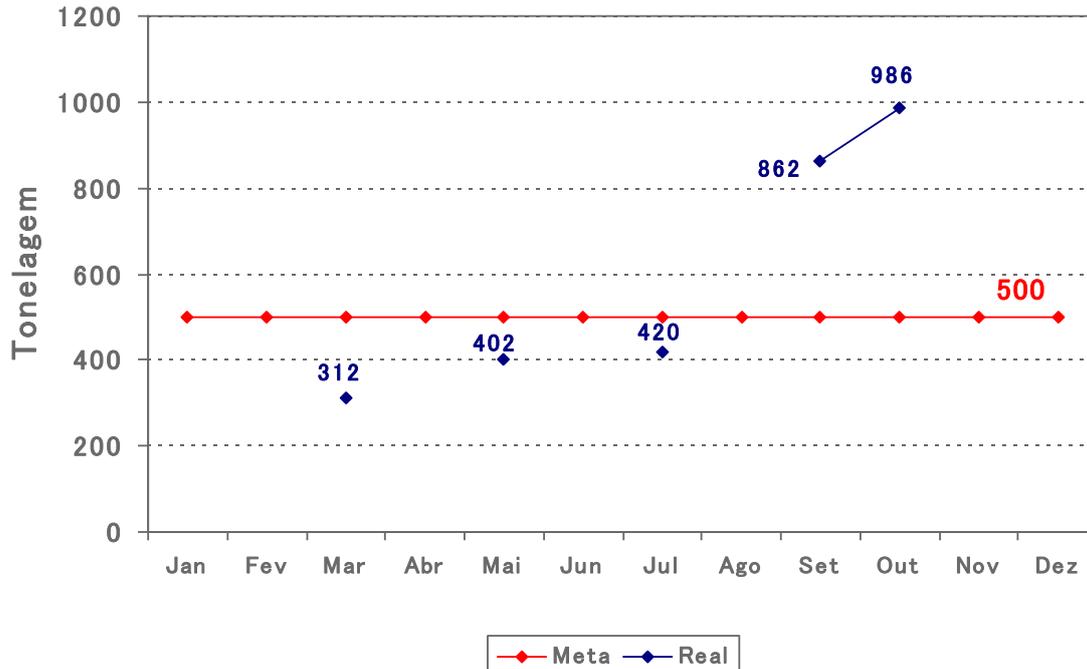
**Figura 14.** Produtividade dos tubos após a padronização das ações adotadas

O desenvolvimento consistia na adaptação de insertos no interior do tubo, fabricados a partir de materiais de maior capacidade tribológica, aumentando, desta forma, a disponibilidade e a produtividade do Laminador 2. A primeira ação foi enviar um tubo conformado para um fornecedor para que pudesse desenvolver tanto os insertos, quanto a adaptação dos mesmos no tubo (anexo 1). Após a aquisição do conjunto de insertos, fabricados de um material, aqui denominado de HWC, foi também adquirido outro conjunto de material H13, para que fosse comparado o desempenho específico de cada um durante a laminação.

Os insertos foram fabricados com 15mm de diâmetro interno e 29mm de diâmetro externo, com comprimento de 30mm, sendo necessários quarenta e uma peças na preparação do tubo.

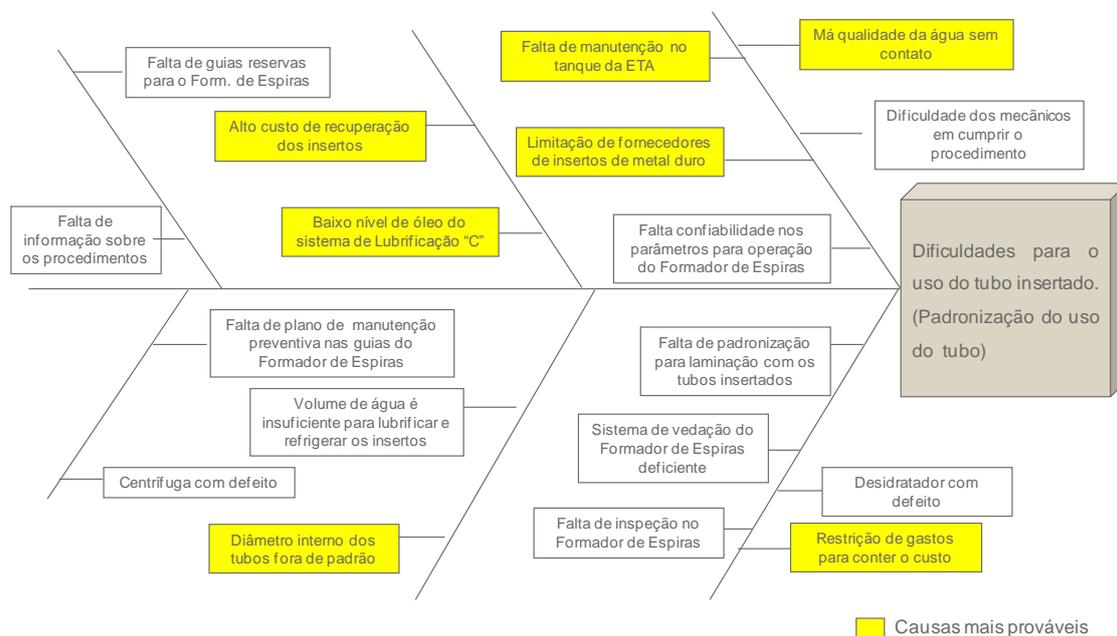
O primeiro grupo de insertos a ser testado foi o de material H13, que rasgou após 355t laminados, com ocorrência de sucata. Em seguida, foram iniciados os testes com os HWC, paulatinamente, para que os insertos fossem medidos e retornassem para a linha produtiva, cujo resultado é apresentado na figura 16. Após as três primeiras campanhas, os insertos apresentaram um desgaste médio de 1mm, sendo necessária a recuperação dos mesmos para um diâmetro de 19mm. Nas duas laminações seguintes, eles apresentaram desgaste médio de 0,50mm, para o total laminado.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



**Figura 15.** Evolução nos testes iniciais do Tubo Insertado

Apesar dos resultados obtidos, a implantação dos tubos insertados era adiada por condições específicas do processo de laminação, que dificultavam a sua utilização. Foi então conduzida uma análise de anomalia (figura 16), com o propósito de se identificar e tratar as principais causas desta anomalia.



**Figura 16.** Diagrama de causa e efeito das dificuldades do uso do tubo insertado

Com as ações do Plano de Ação implementadas, foi possível, enfim, padronizar a utilização do tubo insertado, durante a laminação da bitola de 5,5mm, cuja produção média atual é de 1100t/campanha (figura 17). Com este resultado, também foi permitido iniciar as experiências visando a homologação do seu uso na produção da bitola de 6,5mm.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

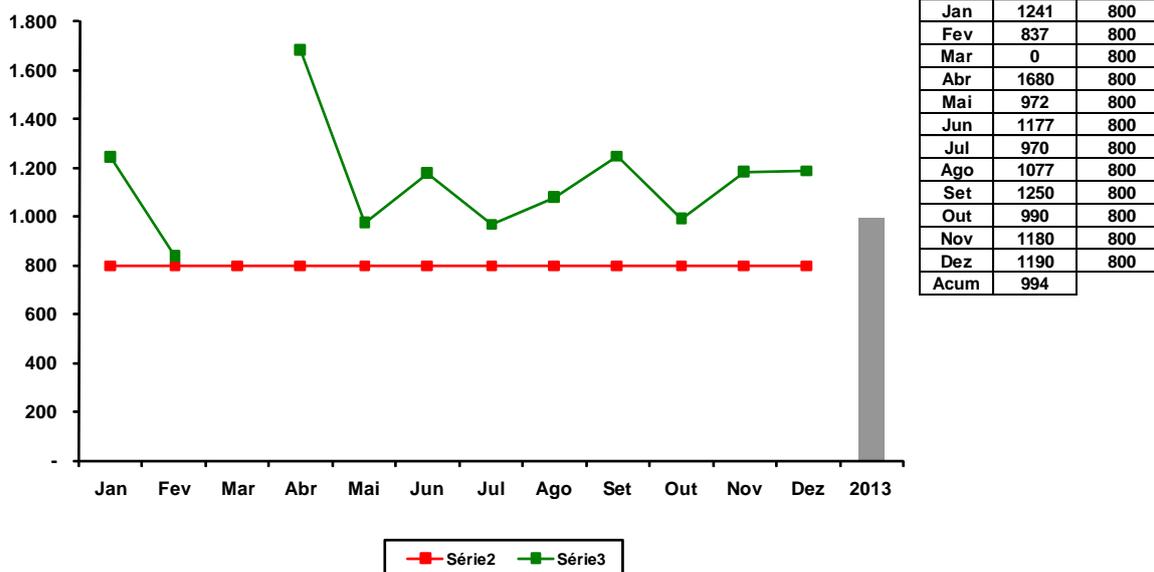


Figura 17. Evolução do tubo inserido após padronização do seu uso

## 4CONCLUSÃO

A padronização da utilização de insertos de metal duro possibilitou o aumento das campanhas dos tubos formadores de espiras, nas laminações da bitola de 5,5mm, permitindo, assim, programar a sua troca com as paradas de logística para substituição dos discos de metal duro do Bloco No Twist. Conseqüentemente, houve uma redução do número de trocas dos tubos, minimizando, dessa forma, o esforço físico dos operadores e dos mecânicos que trabalham na atividade de montagem, bem como nos processos de conformação e preparação dos tubos.

Além disso, foram observados ganhos nos resultados de qualidade, com redução do índice de rejeitos provocados por má formação de rolo, bem como na operação, manutenção e segurança no processo de formação das espiras.

A sinergia entre as equipes da manutenção eletromecânica, das Oficinas de Apoio e No Twist e da operação foram também decisivas para o êxito do projeto.

## Agradecimentos

Os autores são gratos aos que contribuíram para a realização deste projeto, em especial às equipes das oficinas de Apoio, No Twist e manutenção eletromecânica do Laminador 2. Enfim, à Gerência de Laminados da ArcelorMittal Monlevade, por acreditar na viabilidade do projeto e por permitir a publicação deste trabalho.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



## ANEXO



**Figura 1:** Formador de Espiras em operação



**Figura 2:** Tubo formador de espiras conformado



**Figura 3:** Conjunto de inserto e ponto de corte para montagem



**Figura 4:** Posicionamento dos insertos no tubo e bucha de fixação.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.