

# REDUÇÃO DA INCIDÊNCIA DO DEFEITO DE PONTA ABERTA NA LINHA LEVE DA ARCELORMITTAL CARIACICA<sup>1</sup>

Jéveson Batista dos Santos<sup>2</sup>  
 Erasmo Schultz<sup>3</sup>  
 Marco Aurélio Silva<sup>4</sup>  
 Rosan Fernandes Lima<sup>5</sup>

## Resumo

Objetivo deste trabalho foi identificar as principais causas do defeito de ponta aberta, bem como apresentar as principais ações tomadas para redução deste defeito. Empregou-se a metodologia de análise e solução de problemas (MASP) e análises metalográficas para identificar a origem do defeito. Foram realizadas inúmeras ações que culminaram com a redução do índice de paradas operacionais em 87,5% e a redução do número de sucata acidental em 84,1%. Além disso, foram obtidos ganhos referentes à melhoria das condições de trabalho através da diminuição do risco de acidente causado por este tipo de defeito.

**Palavras-chave:** Ponta aberta; Parada; Sucata; MASP.

## REDUCTION OF THE INCIDENCE OF SLIP END DEFECT IN LIGHT SECTION MILL OF ARCELORMITTAL CARIACICA

## Abstract

The purpose of this paper was to identify the main causes of the Slip End defect as well as present the main actions that have been taken for in order to reduce this kind of defect. It has been used the methodology of analysis and solution of problems (MASP) and metallographic analyses to identify the defect's origin. Many actions had been carried out which have culminated to a decrease in the operational stoppage index in 87,5% and a decrease of cobble in 84,1%. Besides all that, improvements of work conditions through the reduction of the risk of accident due to this kind of defect have been observed.

**Key words:** Split end; Stoppage; Cobble; MASP.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Especialista de Produtos – ArcelorMittal Cariacica.

<sup>3</sup> Supervisor de Lingotamento Contínuo da Aciaria – ArcelorMittal Cariacica.

<sup>4</sup> Gerente de Engenharia de Manutenção – ArcelorMittal Cariacica.

<sup>5</sup> Supervisor do Laboratório Físico – ArcelorMittal Cariacica.

## 1 INTRODUÇÃO

A laminação é o processo de conformação mecânica de metais mais utilizado, pois apresenta alta produtividade e possibilita um controle dimensional bastante preciso do produto acabado. Durante o processo de laminação o material é submetido a tensões compressivas elevadas, resultantes da ação de compressão dos cilindros e tensões cisalhantes superficiais, devido ao atrito entre os cilindros e o material.

Como todo processo de conformação, o processo de laminação a quente do Laminador de produtos leves (Linha Leve) sofre com diversos problemas, dos quais se destaca o defeito denominado ponta aberta. Este defeito gera durante o processo de laminação inúmeras conseqüências, tais como: sucata operacional; diminuição do rendimento metálico devido à necessidade do aumento do desponete para eliminação do defeito; quebra de acessórios como guias, roletes, canaletas e cilindros do laminador; surgimento de defeitos no produto final; risco de acidentes com os operadores; atraso no prazo de entrega dos produtos e, por conseqüência, o aumento do custo fixo da laminação.

Em função das inúmeras conseqüências oriundas do defeito de ponta aberta justificou-se a realização de um estudo mais aprofundado do problema. Para tal, optou-se pelo uso da ferramenta MASP – Metodologia para Análise e Solução de Problemas, objetivando a redução da ocorrência deste tipo de defeito durante a laminação garantindo a estabilidade do processo, atendendo às metas de produção, custo e as especificações técnicas dos clientes de forma segura e contínua.

### 1.1 Revisão Bibliográfica

O defeito Ponta Aberta ou Boca de Jacaré é também conhecido como: *Extremos abiertos* (Argentina); *Puntas Abiertas e coladas Abiertas* (Colômbia); *Coliflor* (Chile) e *Split End ou alligating* (Inglês).

Este defeito apresenta-se no material em forma de estouro ou separação das extremidades da barra próximo aos cilindros de laminação como pode ser observado na Figura 1.<sup>(1)</sup>



Figura 1. Aspecto macrográfico do defeito “Ponta Aberta” em uma barra redonda.

Estudos internos realizados mostram que atribuir às causas de ocorrência de um fenômeno como ponta aberta a um único fator não é correto, visto que, sua origem se deve a ação em conjunto de diversos fatores, tais como: segregação de material durante lingotamento contínuo, presença de inclusões não-metálicas e reduções muito fortes na laminação.

### 1.1.1 Segregação

Quando líquido, o aço (liga Fe-C) dissolve homogeneamente quase todo tipo de impurezas, mas ao solidificarem-se, estas impurezas ficam insolúveis e tendem a segregar-se, concentrando-se na região central do material lingotado. A este acúmulo de impurezas nos tarugos e em certas peças fundidas dá-se o nome de "segregação".

A solidificação do aço inicia-se na superfície em direção ao centro da peça, portanto, o primeiro sólido formado no resfriamento apresenta uma composição química diferente do último, provocando segregações e gerando zonas mais ricas em elementos de liga. É nesta última região que a maior parte das impurezas se acumula, podendo levar a uma variação das propriedades mecânicas do material.

### 1.1.2 Inclusões

As inclusões podem ser definidas como partículas de dimensões muito variadas que se incorporam ao aço durante o processo de solidificação do mesmo, que agem prejudicando as propriedades mecânicas dos aços. Elas atuam como pontos concentradores de tensão e como sítios nucleadores da falha do material (trincas), durante os processos de conformação mecânica ou durante a utilização das peças, onde o produto lingotado sofre esforços de tração e compressão.

As inclusões podem ser originadas de duas maneiras, a primeira, a partir das escórias ou do desgaste do refratário (exógenas) e a segunda, se deve aos produtos de adição para elaboração do aço (endógenas), sendo esta última associada ao defeito ponta aberta.

As inclusões endógenas são formadas durante o resfriamento ou solidificação da fase líquida, cristalização ou reação química dos elementos do banho. Como exemplos de inclusões têm-se: óxidos, silicatos, aluminatos, nitretos e sulfetos.

O sulfeto de ferro (FeS) possui um ponto de fusão muito baixo em relação ao do aço (FeS se funde em torno de  $1.000^{\circ}\text{C}$ ), de modo que sua presença nos processos de conformação mecânica a quente, realizados normalmente acima de  $1.000^{\circ}\text{C}$ , confere ao aço a chamada "fragilidade a quente". A presença deste tipo de composto deve ser evitada, não ultrapassando os limites de influência prejudiciais ao processo de conformação mecânica. Nessas condições, faz-se necessária a adição de ligas de manganês, já que o enxofre possui maior afinidade por este elemento do que pelo ferro, formado assim o sulfeto de manganês (MnS), cujo ponto de fusão é em torno de  $1600^{\circ}\text{C}$ , eliminando o efeito da fragilidade a quente. Além disso, o MnS forma-se em partículas muito pequenas, relativamente plásticas, deformando-se e amoldando-se no sentido em que o material é trabalhado.<sup>(2)</sup> Portanto para que se possa ter uma eficaz redução ou mesmo eliminação da "fragilidade a quente", se faz necessário manter uma relação Mn/S acima de certo valor crítico.

### 1.1.3 Esforços de laminação

Durante o processo de conformação o material é forçado a passar entre dois cilindros, que giram em sentidos opostos com praticamente a mesma velocidade superficial e espaçados entre si a uma distância menor que o valor da dimensão inicial do material a ser deformado. Este material sofre ação de uma tensão de compressão, resultante do contato com os cilindros de laminação, que promove a deformação plástica do material na qual há uma redução da espessura. Quando o material passa entre os cilindros de laminação ele possui uma velocidade menor que a dos cilindros e que ao sair sua velocidade torna-se maior. Assim, existe um plano entre os planos de entrada e saída do material onde sua velocidade se iguala a do

cilindro, ou seja, não há movimento relativo. É neste plano que pressão atinge seu valor máximo.

Durante o processo de conformação do material, principalmente após reduções muito fortes e a utilização de cilindros de pequeno diâmetro,<sup>(3)</sup> pode gerar o acúmulo de tensões no material levando ao surgimento de defeitos macros tais como ponta aberta. A presença de descontinuidades no material formadas ao longo do eixo central do esboço associadas a estas severas reduções impostas pelos cilindros de laminação também contribuem para a formação do defeito.

Outros fatores que contribuem para a ocorrência deste defeito são o aquecimento insuficiente e diferença de temperatura entre o centro e a superfície do material a ser laminado.

## 2 METODOLOGIA

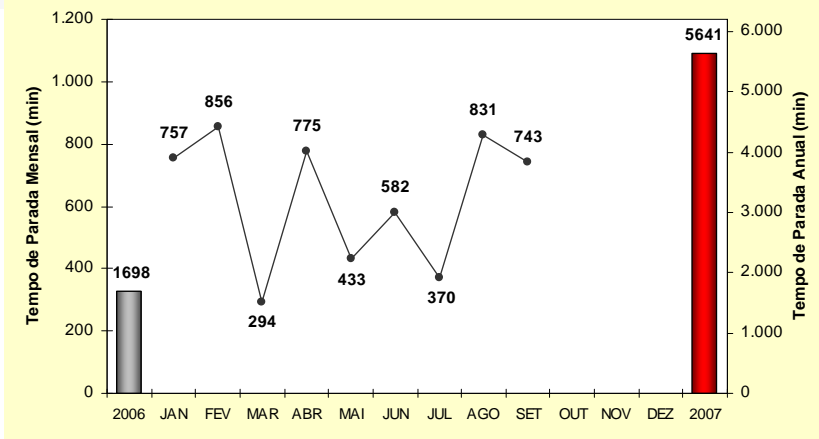
A metodologia empregada para análise da ocorrência do defeito de ponta aberta visando propor medidas para evitar ou minimizar o surgimento deste defeito foi o MASP - Metodologia de Análise e Solução de Problemas que seguiu as seguintes etapas:

- *Identificação do problema:* Nesta etapa houve o levantamento dos dados históricos referente ao tempo de interrupção do laminador nos períodos de 2006 a julho de 2007 devido ao defeito ponta aberta;
- *Análise de Fenômeno:* Nesta etapa, o problema de ponta aberta foi estratificado por tipo de aço, produto e por cadeira de laminação a fim de conhecer a natureza de ocorrência do defeito;
- *Análise de Processo:* Foi empregada nesta etapa a ferramenta FTA (*Fault Tree Analysis*) a fim de detectar as principais causas de ocorrência do defeito. Utilizou-se também a análise metalográfica e microscopia eletrônica de varredura (MEV) das amostras que apresentaram o defeito a fim de detectar falhas na microestrutura tais como trincas, presença de sulfetos, óxidos e segregação. Com o objetivo de avaliar a influência da qualidade do corte dos tarugos realizou-se vários testes com tarugos a fim de verificar a influência dos diferentes tipos cortes no aparecimento do defeito;
- *Plano de ação:* Após a definição das principais causas do defeito, elaborou-se o plano de ação contendo as principais medidas para redução da incidência do defeito de ponta aberta nos tarugos laminados na Linha Leve.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Identificação do Problema

A Figura 2 apresenta a evolução das interrupções do laminador da Linha Leve nos anos de 2006 até setembro de 2007. Nota-se que em setembro de 2007 o tempo total de parada foi cerca de três vezes superior em relação ao ano de 2006.



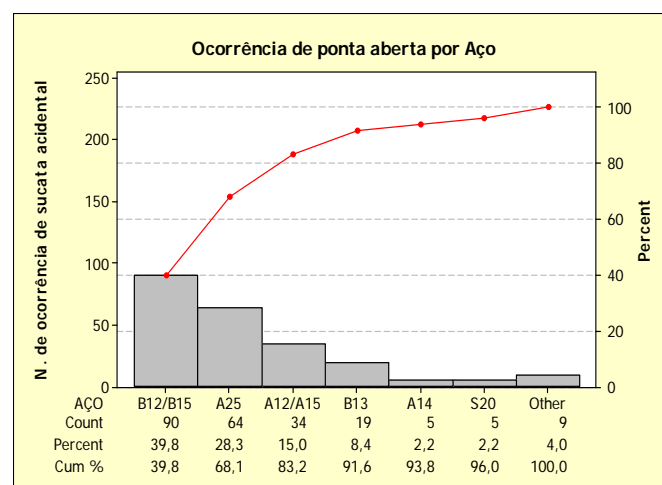
**Figura 2.** Evolução do tempo de parada da Linha Leve devido a Ponta Aberta no período de Janeiro à Setembro/2007.

## 3.2 Análise de Fenômeno

Na etapa de análise de fenômeno foi realizada a estratificação da ocorrência do defeito ponta aberta por três fatores distintos: aço, produto e cadeira de laminação.

### 3.2.1 Estratificação por tipo de aço

Na estratificação por tipo de aço nota-se que 83,1% das ocorrências do defeito estiveram presentes nos aços B12, A25 e A12, conforme Figura 3.



**Figura 3.** Ocorrência de defeito de ponta aberta por aço.

Os códigos B12, A25 e A12 são denominações internas utilizadas para atender as especificações NBR 7007 AR 350, NBR 7480 CA 50 e NBR 7007 MR 250 cujos teores de carbono são menores que 0,25%. Durante o estudo não foi observado a ocorrência dos defeitos nos demais aços.

Os aços B12, A25 e A12 se diferem dos demais por apresentarem uma relação Mn/S menor que 20. Esta baixa relação favorece a formação do sulfeto de ferro (FeS) que, como mencionado anteriormente, confere ao aço a chamada “fragilidade a quente” que é prejudicial ao processo de conformação mecânica levando o surgimento do defeito de ponta aberta.

### 3.2.2 Estratificação por tipo de produto

A Figura 4 apresenta a estratificação por produto, na qual 62,8% das ocorrências de defeito estiveram concentradas nos produtos Vergalhão (VRG), cantoneira de 1 ½" de largura ("CTN 1 ½") e bitolas de barra chata com largura inferior a 50 mm que compõem o grupo (2A).

Durante a realização do estudo não foram observadas o surgimento do defeito nas bitolas de barra chata mola, que utiliza o aço SAE 5160; nas bitolas de vergalhão (VRG) com diâmetro superior a 1" e bitolas de barra redonda mecânica (BRM) do grupo L2 (bitolas com diâmetro superior a 1 3/16").

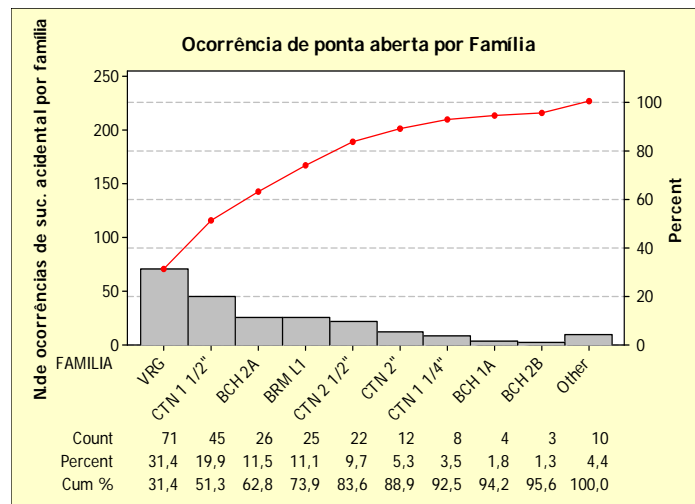


Figura 4. Ocorrência de defeito por família de bitolas

### 3.2.3 Estratificação por cadeia de laminação

Na estratificação por cadeia de laminação, conforme Figura 5, observou-se que 60,6% das ocorrências do defeito estiveram presentes nas cadeiras 1 (desbaste), 5 e 4 que compõem o trem de laminação que antecede a tesoura de desponte das extremidades da barra. Além disso, observa-se uma baixa ocorrência (cerca de 20%) do defeito após a cadeira 6 até a cadeira acabadora 14 que ficam após a tesoura de desponte.

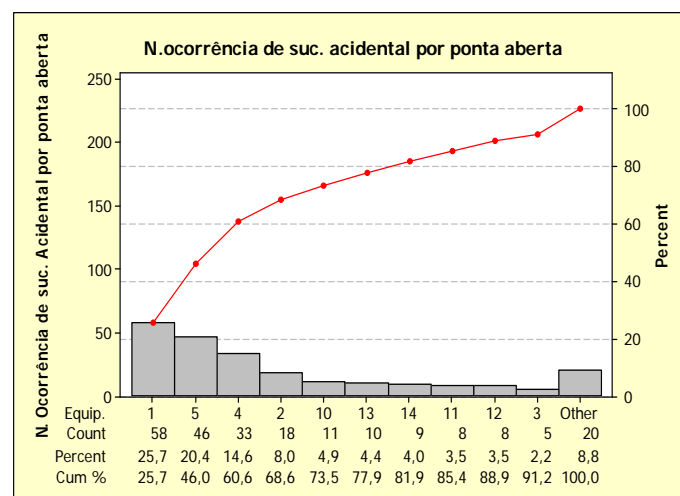
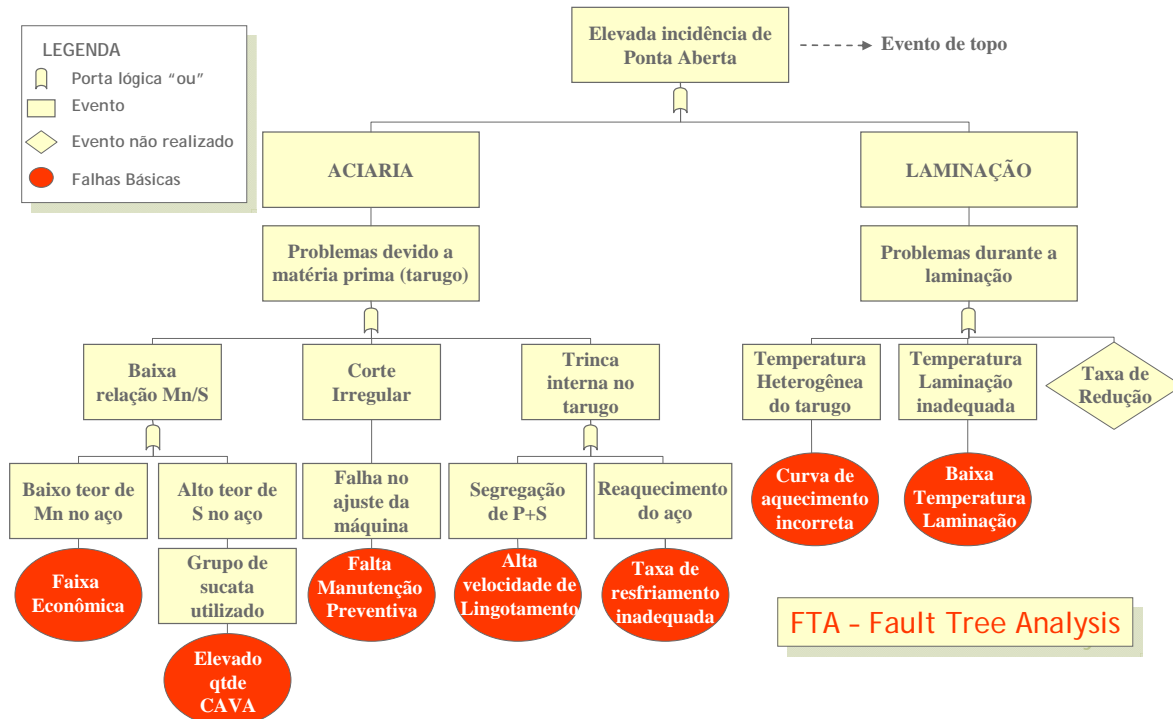


Figura 5. Ocorrência de defeito por cadeia de laminação.

## 3.3 Análise de Processo

Com o intuito de verificar as possíveis causas e determinar as causas fundamentais foi elaborado o diagrama da Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis - FTA*), conforme Figura 6.



**Figura 6.** Diagrama de Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis - FTA*) para o defeito de ponta aberta.

Segue abaixo a descrição de cada evento apresentado na Figura 6.

### 3.3.1 Baixa relação Mn/S

Historicamente corridas com a relação Mn/S maior 20 apresentaram bom desempenho. Os aços com nenhuma ocorrência, como o aço SAE 5160, empregado na produção de barra chata mola, apresentaram a relação Mn/S aproximadamente de 50 e no aço SAE 1045 com relação Mn/S acima 42.

A baixa relação de Mn/S (menor que 20) dos aços é devida a utilização de carga metálica oriundo de cavacos de torno (CAVA) que apresenta elevado teor de enxofre.

### 3.3.2 Corte Irregular dos tarugos

Observou-se uma baixa qualidade do corte dos tarugos no período em que se teve o maior número de ocorrências e geralmente os tarugos com pior corte apresentaram o defeito de ponta aberta. A péssima qualidade do corte dos tarugos foi devida a falta de manutenção preventiva do conjunto de oxi-corte.

## CORTE INACEITÁVEL



- Alta propensão a ponta aberta.
- Normalmente associado à trinca central transversal

## CORTE INTERMEDIÁRIO



- Média propensão a ponta aberta.

## CORTE SATISFATÓRIO



- Baixa propensão a ponta aberta.

**Figura 7** – Qualidade do corte dos tarugos.

A fim de consolidar a influência da qualidade do corte na geração do defeito de ponta aberta foi realizada uma experiência, simulando a influência do corte do tarugo, por meio da introdução do defeito na extremidade dos tarugos com o uso de maçarico. Tais tarugos foram laminados e todos sem exceção apresentaram o defeito de ponta conforme Figura 8.



**Figura 8.** Detalhe do defeito induzido nos tarugos para o teste da qualidade do corte e o resultado dos testes na barra laminada apresentando o defeito de ponta aberta.

### 3.3.3 Trinca interna no tarugo

Constatou-se a presença constante de trinca transversal “grosseira” nos tarugos que apresentaram ponta aberta causadas a partir de tensões termomecânicas sofridas pela pele solidificada durante o resfriamento do tarugo, como mostrado na Figura 9.

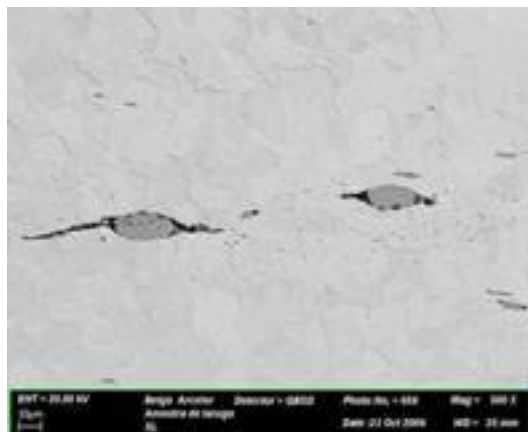


**Figura 9.** Presença de trinca central nos tarugos.

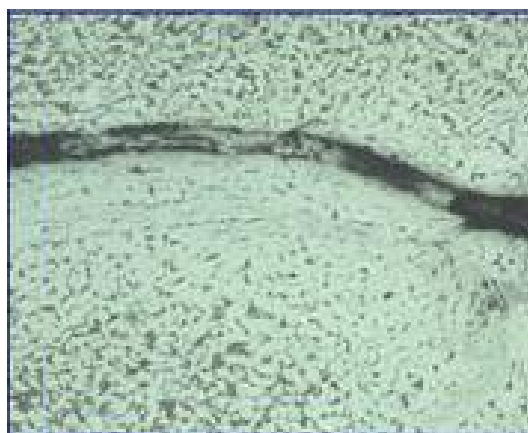
Foram realizadas análises nos tarugos que apresentaram o defeito de ponta aberta no qual foram detectadas a presença de trinca.



As Figuras 10 e 11 apresentam as características da trinca central existente nos tarugos.



**Figura 10** – Presenças de inclusões de sulfetos.



**Figura 11** - Região da trinca com descarbonetação micro-segregação.

Os defeitos são provenientes do lingotamento contínuo devido à presença de óxidos ramificados, microsegregações, forte descarbonetação e oxigênio. As trincas são caldeadas, descarbonetada com oxidação interna e presença de inclusões. Região da trinca com presença maciça de inclusões alongadas de sulfetos e alguns silicatos.

A ocorrência do defeito foi causada pela trinca existente antes do enformamento (descarbonetação e oxidação interna), associado à presença de grandes quantidades de sulfetos (fragilidade a quente) contribuindo para a ocorrência do defeito.

### 3.3.4 Temperatura de laminação

A temperatura de laminação era definida por produto laminado e não por tipo de aço, ou seja, em função do teor de carbono.

### 3.3.5 Temperatura heterogênea da laminação

Não foi possível efetuar a medição da diferença de temperatura entre a superfície e o centro do tarugo.

### 3.3.6 Taxa de redução

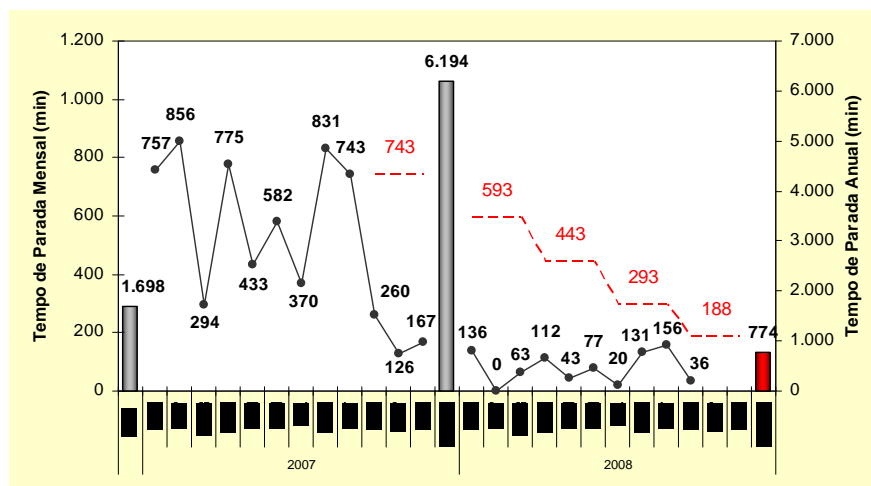
A taxa de redução do desbaste foi considerada baixa quando comparada com outra unidade e comumente praticado por outras empresas, como: ArcelorMittal Cariacica (19%); ArcelorMittal Costa Rica (27%) e praticado por outras usinas (25%).

### 3.4 Plano de Ação e Resultados finais

Segue abaixo as principais ações tomadas para redução do defeito de ponta aberta:

- produzir as corridas na aciaria com relação Mn/S maior que 25;
- limitar o uso de CAVA na carga para o grupo de aços identificados como críticos (A25, A12 e B12);
- alterar o perfil de resfriamento secundário da MLC para os aços considerados críticos (A25, A12 e B12);
- realizar manutenção da máquina de oxicorte para a troca do trilho; e
- elaborar nova curva de reaquecimento de tarugos para os aços considerados críticos (A25, A12 e B12).

A Figura 12 apresenta a evolução da parada operacional após a execução do plano de ação.



**Figura 12** - Evolução do tempo de parada do laminador leve devido a ponta aberta. Período: Outubro/2007 à Outubro/2008

Ao final do projeto, o tempo de parada do Laminador da Linha Leve devido a ponta aberta foi de 774 minutos, cerca de 8 vezes menor quando comparado com o ano de 2007.

## 4 CONCLUSÃO

Destacam-se os seguintes itens alcançados pelo projeto, como a redução de: parada operacional; sucata acidental; custo e condições de risco de acidentes.

Além dos excelentes resultados obtidos, um dos pontos positivos obtidos a partir do desenvolvimento deste projeto é o aprendizado de nova metodologia de qualidade para desenvolvimento de projetos de melhoria e resolução de problemas e a sua difusão em outras áreas da empresa e o trabalho em equipe, que trouxe



excelentes resultados pela possibilidade de melhoria conjunta e simultânea de várias partes do processo.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem às equipes da aciaria e laminação pelo apoio na realização do trabalho e pela obtenção de excelentes resultados.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Relatório metalográfico – ArcelorMittal Juiz de Fora – Análise de Defeito
- 2 Rizzo. Ernandes Marcos da Silveira, Processos de laminação dos aços: uma introdução a Laminação, São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.
- 3 S. Turckzyn, M. Pietrzyk, The effect of deformation zone geometry on internal defects arising in plane strain rolling, J. Mater. Process Technol. 1992.