

# AUMENTO DA CONFIABILIDADE E OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE SENSORES INDUTIVOS DAS GUIAS DE ENTRADA DO TREM ACABADOR DO LTQ DA AMT: Aplicação no LTQ da ArcelorMittal Tubarão<sup>1</sup>

Eric Wilson Santos Cabral<sup>2</sup>  
Jairo Luciano Dias Alves<sup>3</sup>  
Victor Hugo da Silveira<sup>4</sup>

## Resumo

A literatura referencia os constantes eventos de falhas de sensores indutivos nas guias de entrada do Trem Acabador relacionados com a otimização da manutenção, segurança e produção de bobinas em Laminadores de Tiras a Quente, utilizando a metodologia do DMAIC, Seis Sigmas. Esta metodologia está dividida em 5 partes: *Define*, que é a parte que define a precisão do escopo do projeto; *Measure*, determina a localização ou foco do problema; *Analyze*, motiva as causas de cada problema prioritário, *Improve*, parte que propõe, avalia e implementa as soluções para cada problema e *Control*, parte que garante que o alcance da meta seja mantido a longo prazo. No desenvolvimento do trabalho foram realizados estudos, levantamentos e testes com equipamentos para certificação dos resultados. Estes trouxeram grandes ganhos para segurança, produção e manutenção estando esses relacionados ao local de intervenção e exposição das equipes de manutenção, redução dos números de intervenções, tempo de parada, disponibilidade do equipamento e em inspeções mais eficientes. A redução de intervenções aumenta a confiabilidade e a otimização da manutenção aliado ao fator principal que é a segurança.

**Palavras-chaves:** Segurança; Manutenção; Produção; Otimização.

## INCREASE OF CONFIDENCE AND OPTIMIZATION OF MAINTENANCE OF THE INDUCTIVE SENSORS ON THE ENTRY GUIDE OF THE FINISHING TRAIN ON HOT STRIP MILL IN ARCELORMITTAL TUBARÃO

### Abstract

The literature indicates the usual fault events of the inductive sensors on the entry guide of the Finishing Train related with the maintenance optimization, security and production of Hot Strip Mill using the DMAIC methodology of "Six Sigma". This methodology is divide in five parts: DEFINE, is the part that define the precision of the project's objective; MEASURE is the part that determines the location or focus problem; ANALYSE, investigate each major problem; IMPROVE the part that propose a solution for each problem and CONTROL which certify that the goal approach be sustain throw time. In the development of the paper were developed studies, data and tests with equipments that would certificate the results which brought lots off gain to security, production and maintenance. These are related to the place of the intervention and exposal of the maintenance's staff, reduction off the intervention numbers, stops period, equipments availability and more efficient inspections. The reduce of interventions about fault in the inductive sensors increase the trust and the maintenance optimization add up to the main factor which is security.

**Key words:** Security; Maintenance; Production; Optimization.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista pelo Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL / MG. Especialista em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas – FGV / ES; Especialista de Manutenção da Área de Manutenção de Controle de Processo de Condicionamento de Placas e Laminador de Acabamento da ArcelorMittal Tubarão.

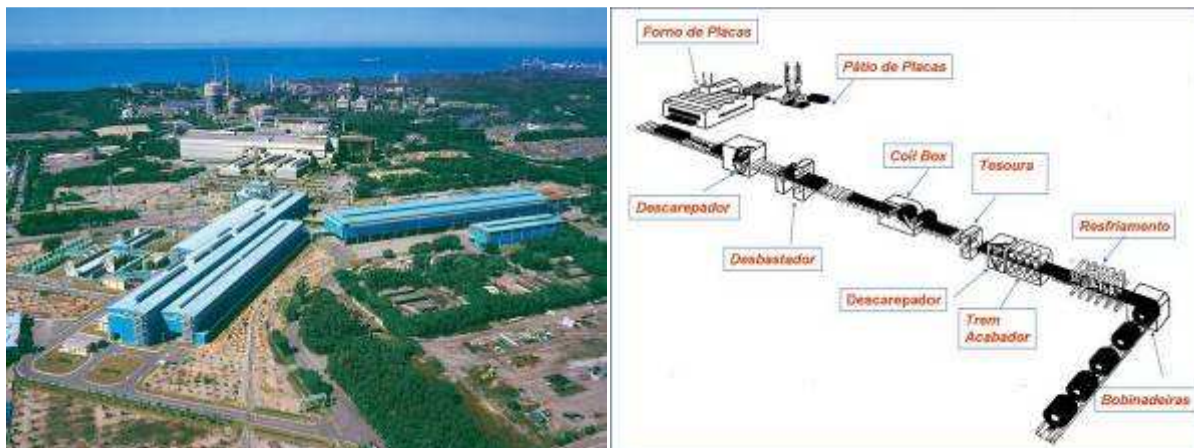
<sup>3</sup> Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG / PB. Especialista de Manutenção da Área de Manutenção de Controle de Processo de Condicionamento e Laminador de Acabamento da ArcelorMittal Tubarão.

<sup>4</sup> Técnico em Eletrotécnica peça Escola Técnica Federal do Espírito Santo – CEFET / ES. Técnico de Manutenção da Área de Manutenção de Controle de Processo do LTQ da ArcelorMittal Tubarão.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

O Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão, LTQ, é a unidade operacional responsável pela transformação de placas de aço em bobinas (BQ's). Possui uma capacidade de produção de 4 milhões de toneladas por ano operando com dois fornos de reaquecimento. O fluxo de produção parte do recebimento de placas de aço provenientes do Lingotamento Contínuo, sendo enforçadas a uma temperatura de aproximadamente 1.200°C até atingir sua homogeneização. Após essa etapa de aquecimento as placas são desenforçadas na linha de laminação e passam por uma Descarepação primária para retirada da carepa, seguindo em direção ao Laminador Desbastador para a primeira etapa de redução de espessura e largura baseada em até sete passes. Seguindo a laminação a tira percorre por meio de rolos acionados por motores elétricos até o Coil Box onde é bobinada e realizada a inversão de pontas. Após passar pelo Coil Box é realizado o corte do topo, da cauda e a Descarepação secundária da tira com a entrada direcionada para o Trem Acabador. No Trem acabador é realizado o acabamento final pelas seis cadeiras de laminação atingindo a espessura alvo e seguindo para o Laminar Flow onde será realizado um novo resfriamento para atingir a temperatura de bobinamento na Bobinadeira. Na Bobinadeira o material é bobinado, segue para inspeção de qualidade e para o pátio de estocagem de Bobinas. Parte das BQ's podem ser direcionadas para a Linha de Tesoura ou Laminador de Acabamento dependendo da situação avaliada de cada BQ. Basicamente o processo do LTQ se divide em quatro partes, iniciando pelo Forno de Reaquecimento de Placas. Após o aquecimento, cada placa segue o fluxo do produtivo (Figura 1), passando pelos estágios de Laminação, Resfriamento e Bobinamento.

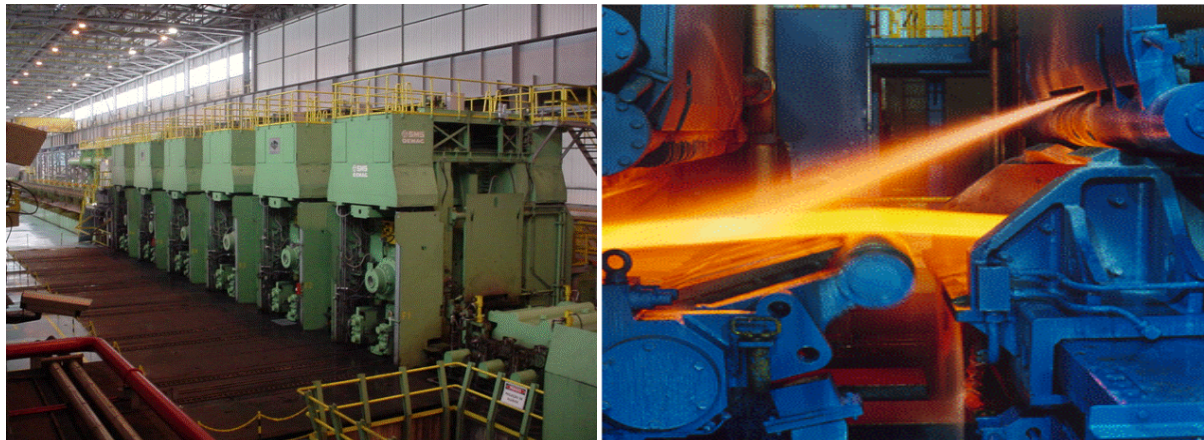


**Figura 1.** Panorama da ArcelorMittal Tubarão e equipamentos principais do LTQ, evidenciando o fluxo de produção.

Na etapa de laminação final, onde a tira passa pelo Trem Acabador, estão as guias de entrada (Figura 2) que estão distribuídas na entrada de cada cadeira de laminação, entre as pernas das cadeiras, acima e abaixo da linha de passe. Elas servem para guiar a tira para região de mordida do cilindro e evitar que a tira enrole ao redor dos cilindros de trabalho na saída.

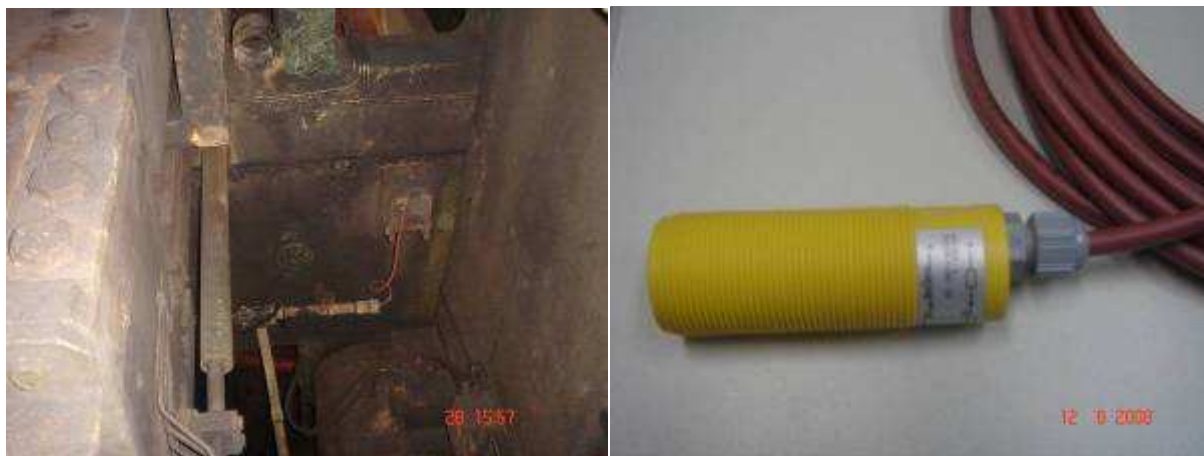
As guias estão distribuídas sobre uma carcaça base, a qual pode ser elevada hidraulicamente para efetuação do *pass line*.

A guia de entrada tem em sua base um sistema de ajuste de largura acionado hidráulicamente. As guias de entrada podem ser extraídas automaticamente para operação de troca de cilindro.



**Figura 2.** Trem Acabador com 06 cadeiras de Laminação e Guia de Entrada.

Durante as trocas de cilindros as guias de entrada permanecem na posição extraída e, durante a laminação na posição inserida, esse acionamento é realizado por um sistema hidráulico constituído de válvulas, cilindros hidráulicos acionados por um comando via CLP. A indicação da posição das guias é realizada por sensores indutivos (Figura 3) instalados em dois pontos extremos para inserção e extração. Esses sensores ficam localizados dentro da linha de laminação.



**Figura 3.** Localização do sensor indutivo da guia de entrada e Sensor indutivo utilizado no local.

## 1.2 Objetivo

Os constantes problemas nesses sensores levaram a manutenção de controle de processo a realizar um levantamento detalhado das intervenções realizadas e do tempo de parada da linha de laminação. Esse levantamento resultou em um estudo detalhado com objetivo de reduzir o número de intervenções e de paradas de linhas, diminuição do custo e o aumento da segurança do empregado durante a realização da tarefa. No desenvolvimento desse trabalho serão demonstradas as ações dentro da metodologia aplicada, Seis Sigmas DMAIC.<sup>(1)</sup>

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Seleção da Amostra**

Foram utilizadas as ferramentas de controle da manutenção da ArcelorMittal Tubarão para o levantamento do histórico de intervenções e paradas de linhas ocasionadas por falhas na atuação desses sensores. A ferramenta Sismana é utilizada para registro de anomalias em todas as atividades de manutenção criando um histórico que considerou dados desde janeiro de 2007. Essa estratificação foi realizada por cadeia de laminação para identificação de possíveis problemas localizados. Outra ferramenta utilizada foi o Relatório Diário de Turno da manutenção de controle de processo do LTQ. Estes dados em conjunto com as informações do Sismana, compuseram o levantamento final do Histórico de falhas de sensores indutivos das guias de entrada das cadeiras de laminação do Trem Acabador.

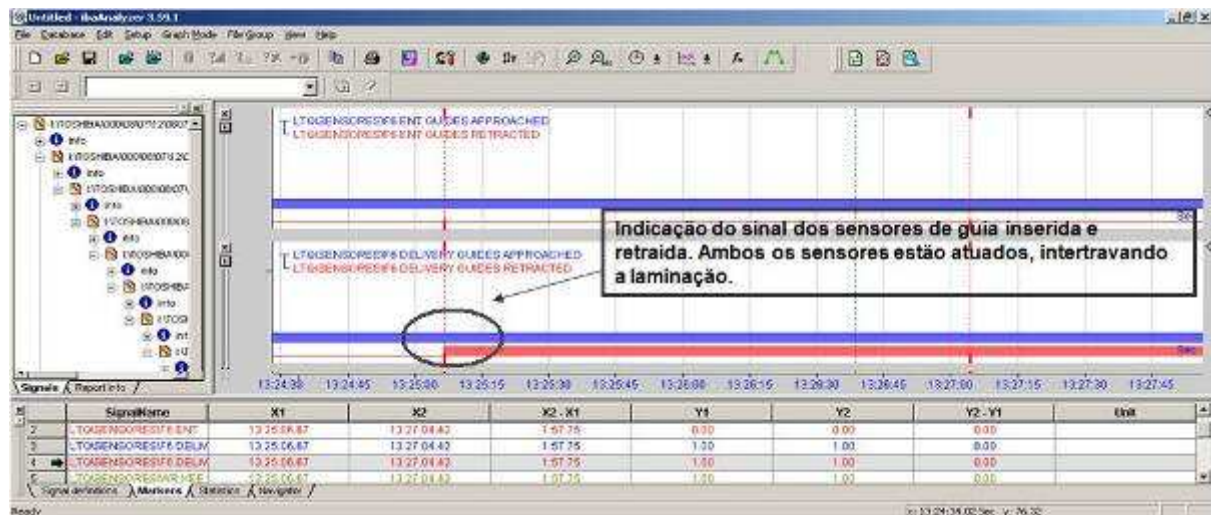
### **2.2 Metodologia**

O *Seis Sigma*<sup>(1)</sup> foi criado em 1987, nos Estados Unidos, e hoje é considerado a metodologia da qualidade com maiores eficiência e eficácia. Sua utilização tem se consolidado a cada dia nas empresas do século 21. O objetivo principal desta metodologia é aumentar a lucratividade das empresas, através da otimização de recursos, produtos e processos sem, no entanto, perder o foco no atendimento de metas e clientes internos e externos. Todo o estudo para a implementação de um projeto baseado nesta metodologia é suportado por levantamento histórico e controles estatísticos de dados e variáveis. Para desenvolvimento do projeto é desenvolvida a tecnologia do DMAIC.

#### **2.2.1 Define**

Nessa etapa foram definidos: o problema, a viabilidade, estabilidade e elaborado o mapa de processo.

Durante a operação do Trem Acabador as cadeiras de laminação operam com a condição de controle em automático. A falta de um sinal de algum sensor pode ocasionar em sucata ou mesmo em uma parada geral. Os sensores indutivos das guias de entrada fazem parte das constantes intervenções relacionadas a esse tipo de falha. Quando a linha do LTQ está operando normalmente e o sensor perde ou atua indevidamente o sinal, o sistema de o controle entende que a guia não está na posição correta levando a interrupção da operação do equipamento por motivo de segurança (Figura 4). Durante a troca de cilindros de trabalho do Trem Acabador a guia de entrada deve estar extraída para que não interrompa a seqüência em automático, o que garante essa informação é o sensor indutivo dessa posição, qualquer falha leva a interrupção da seqüência em automático, parando a troca de cilindros. Esses eventos são responsáveis por ocasionarem grandes transtornos operacionais e exposição do empregado aos riscos da atividade de intervenção.



**Figura 4.** Análise gráfica do sinal do sensor da Guia de Entrada da Cadeira de Laminação F6, utilizando o software IbaAnalyzer 3.59.1.

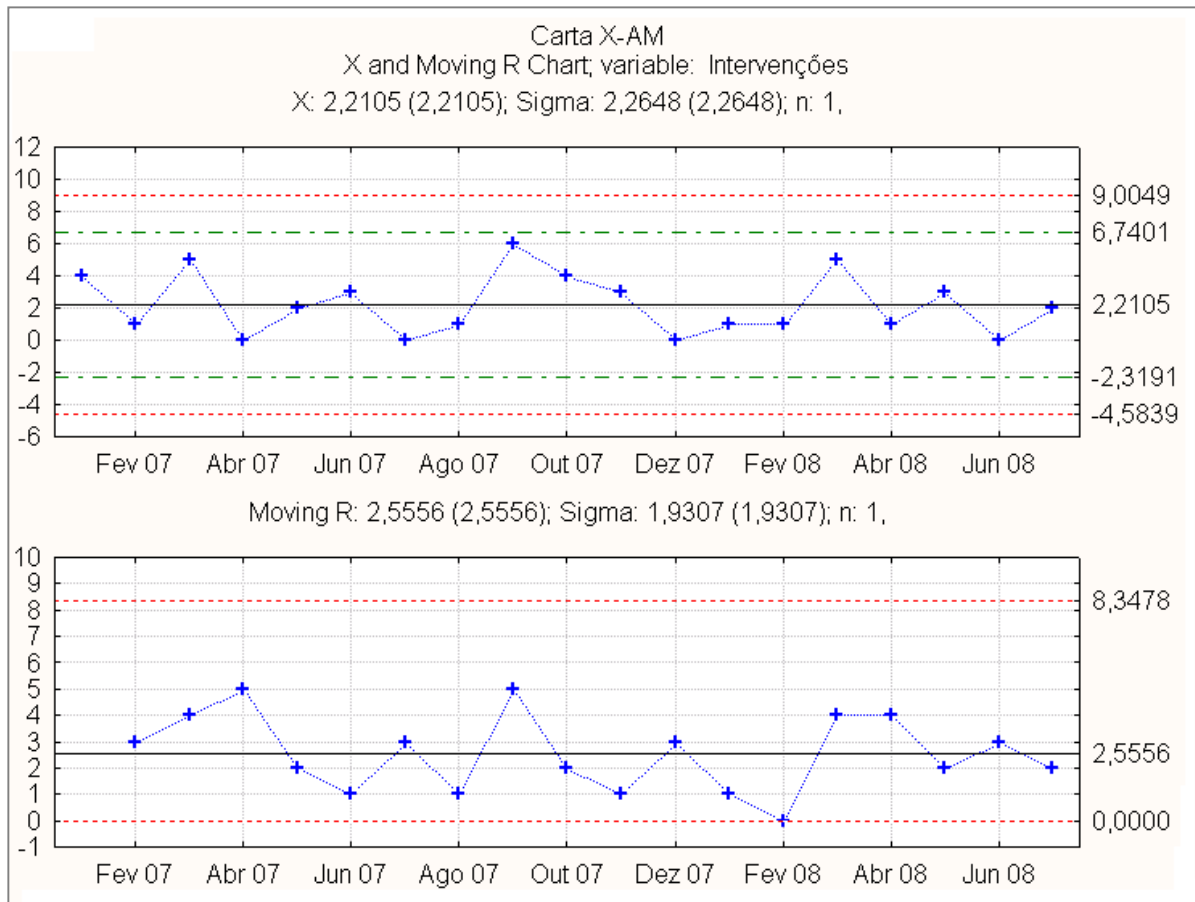
Como premissa básica para definição das metas e seguimento no projeto, deve-se verificar a estabilidade do processo para, então, estabelecer critérios para melhorar seus resultados.

Buscando a verificação da estabilidade, foi elaborada uma Carta de Controle (Figura 5), ferramenta onde constam os dados do evento que está sendo analisado de modo a permitir a visualização do tipo de variação desse evento em um determinado tempo – variação natural (típica) ou variação especial (atípica).

Os critérios utilizados para a análise buscando a obtenção dos resultados são:

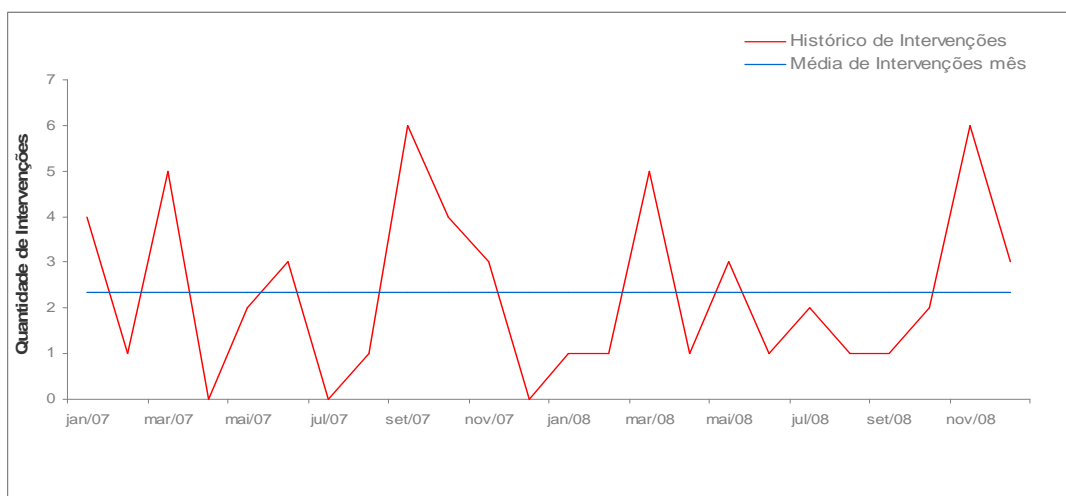
- pontos fora do limite de controle: presença de algum ponto fora da linha vermelha pontilhada do primeiro gráfico, situada a uma distância de três desvios padrão da meta;
- periodicidade: identificação de uma tendência repetitiva para cima e para baixo, em intervalos de tempo de amplitudes aproximadas;
- sequência: identificação de sete ou mais pontos consecutivos em um dos lados da linha média;
- tendência: identificação de sete ou mais pontos consecutivos apresentando um movimento contínuo ascendente ou descendente; e
- aproximação dos limites de controle: ocorrência de dois entre três pontos consecutivos entre as linhas de dois e três desvios padrão, linhas verde e vermelha pontilhadas do primeiro gráfico respectivamente.

Como não foi encontrado nenhum caso especial nas cartas de controle, conclui-se que o processo está em condições normais, sem causas especiais, sob controle estatístico.



**Figura 5.** a) Análise gráfica do sinal do sensor da Guia de Entrada da Cadeira de Laminação F6, utilizando o software IbaAnalyzer 3.59.1.

Com objetivo de verificar a viabilidade do projeto foram elaboradas as metas e levantamentos de custos. Para isto, foi definida uma meta de redução mínima de 30% da situação atual que são de 2,33 intervenções (Figura 6) por mês, para 1,63 intervenções por mês. O valor das perdas resultantes do problema no período avaliado de 12 meses resultou em US\$272.640,00, definindo assim a viabilidade do projeto.



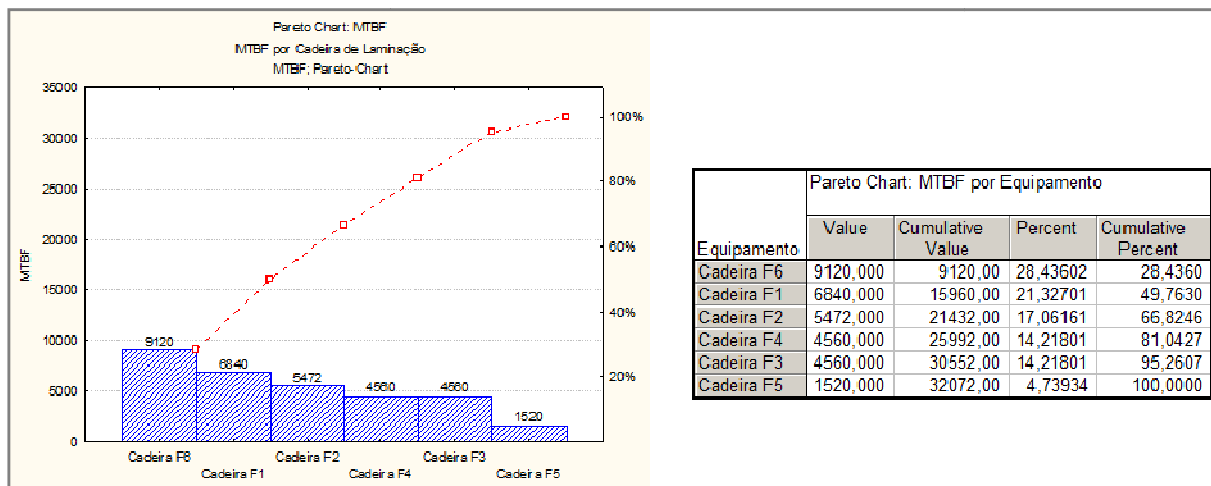
**Figura 6.** Gráfico seqüencial com histórico das intervenções nos anos de 2007 e 2008 nas Guias de Entrada das Cadeiras de Laminação do Trem Acabador.

Um mapa do processo de fabricação foi elaborado através da ferramenta SIPOC,<sup>(1)</sup> conhecido como diagrama de contexto, com dados coletados para análise de cada etapa da produção. Isto possibilitou identificar a influência de cada etapa no processo.

### 2.2.2 Measure

Nessa etapa foram utilizadas ferramentas para identificação da localização ou foco do problema. Através da análise de variação no tempo foi possível identificar dentro das seis cadeiras de laminação, F1, F2, F3, F4, F5 e F6 qual apresentou o maior número de intervenções. A cadeira de laminação F5 foi a que apresentou o maior número de intervenções no período analisado, sendo responsável por 43% das intervenções nos sensores indutivos das guias de entrada. As cadeiras de laminação F3 e F4 indicaram um percentual de 14% para cada uma e a F2 um percentual de 12%.

Como parâmetro de análise para definição das metas prioritárias foi utilizado o MTBF de cada cadeira e elaborado um gráfico pareto para verificação (Figura 7).



**Figura 7.** Pareto e MTBF dos sensores indutivos das Guias de Entrada das Cadeiras de Laminação do Trem Acabador.

Durante as análises do MTBF, foi observado que a cadeira de laminação F5 representa o menor valor e o restante das cadeiras obteve um valor elevado, sendo esses mais próximos uns dos outros, ficando a cadeira de laminação F5 isolada das outras, portanto, diferenciada. Esses valores foram levantados com foco no tempo médio entre falhas dos sensores indutivos das guias de entrada. As metas prioritárias foram definidas em três partes, sendo elas:

- meta prioritária 1 - Elevação do MTBF dos sensores das Guias de entrada da cadeira F5 em 100% ( 1 intervenção média a cada 60 dias);
- meta prioritária 2 - Elevação do MTBF dos sensores das Guias de entrada da cadeira F3, F4 em 50% ( 1,26 intervenções médias a cada 6 meses); e
- meta prioritária 3 - Elevação do MTBF dos sensores das Guias de entrada da cadeira F2 em 25% ( 1,26 intervenções médias a cada 6 meses).

Atingindo as metas prioritárias, será reduzido em 30% o número de intervenções (Sensores Indutivos) nas guias de entrada das cadeiras de laminação do Trem Acabador. Isso resultará no alcance da meta ano de 19,57 intervenções por ano, que totaliza uma redução inicial de 9 intervenções por ano.

### 2.2.3 Analyze

Na etapa *Analyze* foi realizado um estudo para identificação das causas de cada problema prioritário. Para isso foram utilizadas as ferramentas FMEA (Figura 8), diagrama de Afinidades, análise de processo e levantamento de campo.

A equipe do trabalho realizou um *brainstorming* de modo a identificar as causas potenciais dos problemas. Foi aplicada a metodologia FMEA para relacionar as causas potenciais levantadas. Foi realizada a análise conjunta das cadeiras de laminação devido as condições operacionais serem as mesmas para tal aplicação.

Item	Descrição do Produto	Funções do Produto	Modos	Efeito(s)	Causas	Controles Atuais	Índices			
							G	O	D	R
1	Sensor Indutivo	Detectar o posicionamento correto das guias de entrada das cadeiras de laminação	Atuação indevida do sensor	Falha no posicionamento da guia de entrada	Mau contato nas interligações do cabo do sensor	Inexistente.	7	5	9	315
					Baixa isolamento nos cabos do sensor, ocasionada por umidade	Inexistente.	8	6	8	384
					Ajuste inadequado do sensor	Inspeção periódica das condições físicas do sensor.	6	5	9	270
			Desatuação indevida do sensor.		Defeito na unidade eletrônica do sensor	Inexistente.	8	6	7	336
					Sensor Inadequado para a condição atual de processo (Especificação)	Inexistente.	5	2	7	70
					Rompimento do cabo do sensor.	Inspeção periódica das condições físicas do sensor.	7	2	3	42

G = Gravidade / O = Ocorrência / D = Detecção / R = Riscos

Figura 8. Diagrama FMEA – Identificação das causas potenciais do problema.

Após a realização do FMEA foi necessária a priorização das causas potenciais. Para isso foi utilizado o Diagrama de Afinidades onde todas as causas potenciais foram analisadas e definidas (Figura 9).

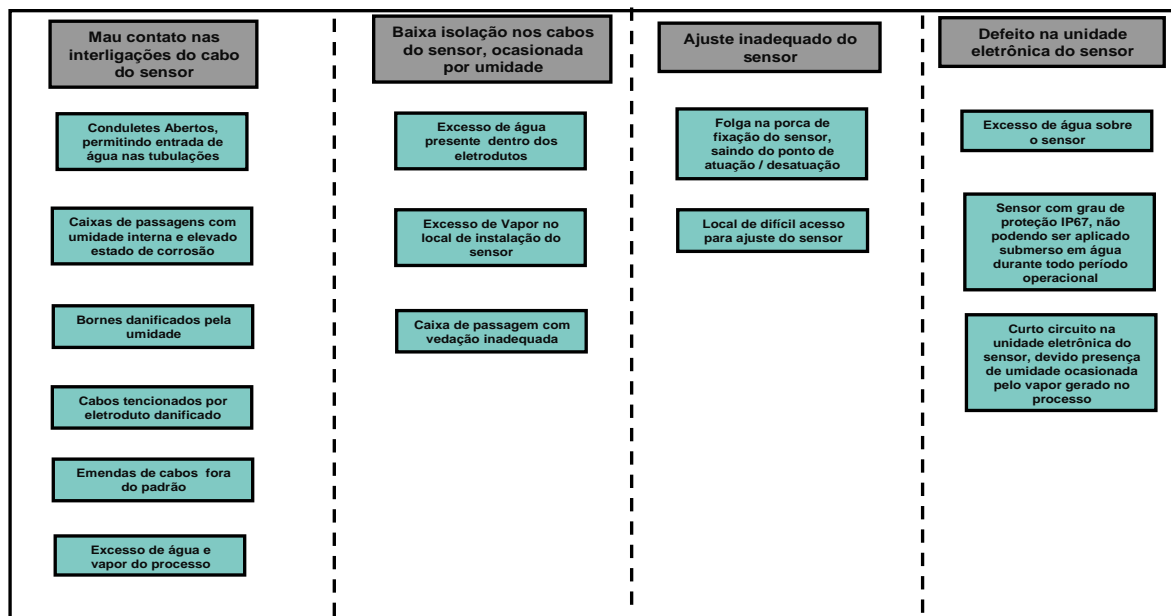


Figura 9. Diagrama de Afinidades – Priorização das causas potenciais do problema.

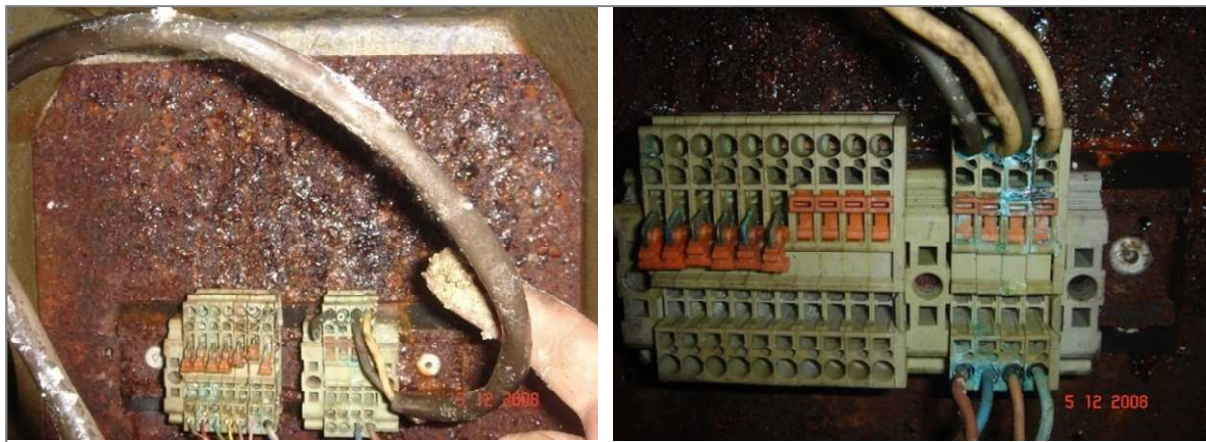


Definido a priorização das causas potenciais foram realizadas análises de processo e levantamento de campo para comprovação das causas básicas.

Durante os levantamentos de campo foram observados elementos presentes e resultantes do processo de laminação, como água, vapor condensado atuando diretamente nos sensores, caixas de passagem e eletrodutos que contribuem diretamente para o funcionamento inadequado dos sensores. Outro ponto observado foi a dificuldade de acesso ao local de instalação do sensor, o que só é possível com a linha de laminação parada, mesmo assim dificultando a manutenção e ajuste do sensor devido não ter uma base própria para apoio do empregado (Figuras 10,11).



**Figura 10.** Local de instalação do sensor com a linha em operação, excesso de água e vapor atuando diretamente.



**Figura 11.** Caixa de passagem e borneiras, grande acúmulo de umidade.

#### 2.2.4 *Improve*

Nessa etapa foram propostas, avaliadas e implementadas as ações definidas. Após a comprovação de das causas prioritárias, foi elaborado um plano de ação para solução do problema (Figura 12).

Foi realizado o levantamento dos custos de implementação comparados com as perdas resultantes do problema e foi concluído que era viável a implementação das ações do plano de ação.

Antes da realização da implementação foram elaborados planos de testes para cada ação com objetivo de garantir a segurança operacional e dos envolvidos na realização do projeto. Foram confeccionados suportes para instalação em um local onde o vapor e a água não estavam atuando diretamente nos sensores e que

facilitariam o acesso da manutenção, garantindo uma maior segurança durante a realização das atividades de intervenção.

Ação (What)	Responsável (Who)	Prazo (When)	Local (Where)	Razão/ Porquê (Why)	Procedimento / Como (How)
A – Alterar o local de instalação do sensor	Victor Hugo / Magnesita	Jan/09	Cadeiras F2, F3, F4 e F5	Melhor condição de acesso para manutenção no sensor, reduzir o excesso de vapor, com objetivo de prolongar a vida útil do sensor	Confeccionar/fixar suporte para instalação dos sensores. Programar uma OS (ordem de serviço) para a equipe de execução efetuar as modificações
B - Substituir a caixa de passagem atual por outra com maior grau de proteção	Victor Hugo	Jan/09	Cadeiras F2, F3, F4 e F5	Reduzir falha no sensoramento por mau contato, baixo isolamento, edefeito na unidade eletrônica	Solicitar requisição das caixas de passagem e programar uma OS (ordem de serviço) para a equipe de execução efetuar a instalação.
C – Revisar plano de inspeção	Victor Hugo	Jan/09	Todas as Cadeiras	Reduzir umidade dentro das caixas de passagem, verificar eletrodutos, cabos e fixação dos sensores	Verificar no Sismana condição atual do plano, aumentar a frequência de inspeção.

Figura 12. Plano de Ação.



Figura 13. Novo local de instalação do sensor e nova caixa de passagem.



Figura 14. Tela do sistema supervisorio do Trem Acabador do LTQ da AMT.

Após a instalação (Figura 13), foram realizadas as comprovações dos resultados que comprovaram a eficiência das ações, trazendo resultados acima da meta esperada (Figura 15). Para facilitar a verificação dos sinais dos sensores indutivos foi utilizada a tela do sistema supervisorio (Figura 14).

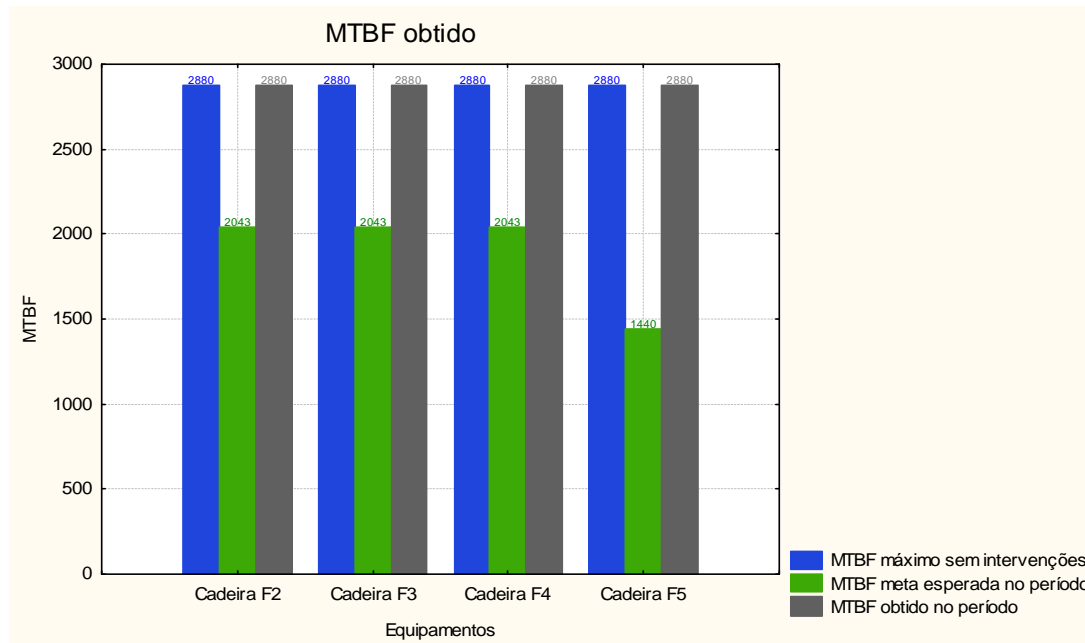


Figura 15. Resultados das metas prioritárias, no período avaliado.

### 2.2.5 Control

Nessa etapa foram realizados acompanhamentos para verificação dos resultados após o *Improve*. Os resultados obtidos até junho de 2009 foram excelentes, ficando acima da meta global prevista.

## 3 RESULTADOS

Os resultados do projeto ficaram acima do esperado, foi superada a meta global prevista que estava em uma redução de 30% do número de intervenções para aproximadamente 78%. Destaca-se que as ocorrências resultantes nesse período aconteceram nas cadeiras de laminação F1 e F6 onde o projeto ainda não foi implementado, mas se encontra em andamento (Figura 16).

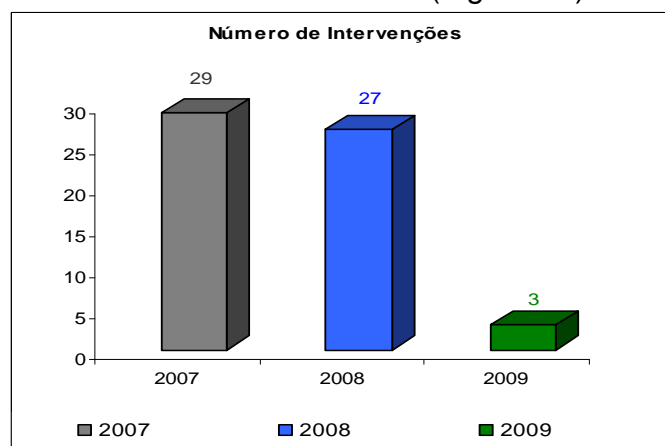


Figura 16. Gráfico de barras referente ao número de intervenção por ano.

## **4 DISCUSSÃO**

O presente trabalho teve como intuito a apresentação de ações localizadas em equipamentos expostos a condições operacionais com fluxo de produção em elevadas temperaturas e resfriamento utilizando água industrial. Esses fatores quando relacionados são capazes de gerar vapor em excesso que influenciam no correto funcionamento de sensores. É importante que esses sensores sejam especificados com grau de proteção elevado, acima de IP65, instalados em locais com facilidade de acesso para manutenção e fora da área de alta concentração de vapores gerados pelo processo. Essa aplicação pode ser realizada em outros equipamentos com características semelhantes desde que sigam os passos de forma correta, adotando critérios e metodologias de aplicação.

A maioria das plantas são comissionadas conforme concepção de projeto e após algum tempo surge a necessidade de realização de melhorias nos equipamentos, buscando otimizar o processo, garantir uma maior confiabilidade e maior segurança dos empregados ligados diretamente ao processo.

## **5 CONCLUSÃO**

Durante a realização do projeto foi observado que a aplicação da metodologia Seis Sigmas trouxe grandes resultados para o ótimo desenvolvimento do projeto, mostrando a grande necessidade da sua utilização na resolução dos problemas existentes nas áreas. É de extrema importância que as equipes atuem com metodologia, pois o trabalho tem uma seqüência que cada etapa completa a outra seguindo um raciocínio estruturado focado no problema que permitira apresentar as soluções de uma forma mais consolidada e com evidências comprovadas. Com a implementação do projeto as equipes de manutenção estão menos expostas aos riscos de acidente, devido a redução do número de intervenções e abrindo espaço para novos desafios.

### **Agradecimentos**

À ArcelorMittal Tubarão que possibilitou a realização deste trabalho e que pauta-se na metodologia do Seis Sigma em busca de aumentar a confiabilidade de suas plantas, desenvolvimento e segurança dos seus empregados. A todos que participaram do trabalho, em especial ao Técnico de inspeção e predição elétrica Victor Hugo e ao Especialista de manutenção Jairo Luciano Dias Alves, cujas contribuições foram fundamentais; e à minha família, pelo apoio e atenção incondicional de sempre.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 WERKEMA, C., Criando a cultura seis sigma, 3ª Edição, Editora Werkema, Nova Lima-MG, 2004.