

# ELIMINAÇÃO DE FALHA NO COMPONENTE DE PROTEÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE TORQUE DAS GAIOLAS DO INTERMEDIÁRIO TL2<sup>1</sup>

Rodrigo Citrangulo Daniel Luiz<sup>2</sup>  
André Luiz Barbosa Carvalho<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo demonstrar por meio de estudos técnico- científicos e de casos, como foram eliminadas as falhas devido a quebras dos elementos de proteção de sistemas de transmissão de torque (pinos de cisalhamento) no trem intermediário do Laminador 2 da Arcelormittal Piracicaba. A quebra de pinos de cisalhamento no trem intermediário são uma constante desde o início da operação do Laminador 2, sendo que diversas tentativas foram feitas no sentido de eliminar as quebras porem sem sucesso, o que demonstrou a necessidade de uma abordagem metodológica do problema. Este estudo, baseado na análise dos projetos dos equipamentos envolvidos e das praticas de manutenção adotadas, orientou o redimensionamento dos elementos de proteção do sistema de transmissão de torque além da revisão e implantação de novas rotinas de manutenção nos equipamentos. O resultado obtido demonstrou a importância do profundo conhecimento tanto do projeto do equipamento quanto da avaliação e conhecimento empírico da manutenção de campo, conjunto este de informações que é indispensável para se garantir o desempenho dos equipamentos permitindo uma produção livre de imprevistos.

**Palavras-chave:** Pino de cisalhamento; Seis Sigma; PDCA.

## FAILURE PREVENTION AT THE SAFETY DEVICE OF THE TORQUE TRANSMISSION SYSTEM AT INTERMEDIATE MILL OF ROLLING MILL 2

### Abstract

This paper main objective is to demonstrate how the break of protection elements of torque transmissions systems (shear pin) was done at ArcelorMittal Piracicaba through technical scientific studies of several cases. The breaks of shear pins at the intermediate mill are constant since the beginning of the operation of Rolling Mill 2. Several attempts were made trying to eliminate the breaks, but all unsuccessfully, what demonstrate a necessity of a methodological approach of the problem. This study, based on the analysis of the projects of the equipments involved and the maintenance practices, lead the way to re-dimension the torque protection systems and to apply new maintenance routines on the equipments. The result achieved have shown how important it is to have full understanding of the equipment project and the maintenances routines for assuring a production free from unpredicted events.

**Key words:** Production pace; Six Sigma; Productivity.

<sup>1</sup> Contribuição 47º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, a ser realizado de 26 a 29 de outubro de 2010, em Belo Horizonte - MG – Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico da ArcelorMittal Piracicaba

<sup>3</sup> Gerente de Manutenção da Laminação da ArcelorMittal

## 1 INTRODUÇÃO

Os laminadores dedicados a produzir vergalhão em barras retas evoluíram muito aos longos dos últimos 30 anos. Estas plantas costumavam ser plantas de porte pequeno ou médio onde o laminador produzia entre 100 Kton/ano a 200 Kton/ano.

Eram laminadores muito pouco automatizados, com muitas operações manuais, gaiolas com mancais de deslizamento (celeron) e pouco rígidas, desbaste do tipo trio com gaiolas montadas lado a lado e acionadas por um mesmo motor. A barra para ir de uma gaiola para a gaiola seguinte passava por uma dobradora (*cross-country*). Ao final do último passe a barra ia então para o leito de resfriamento.

Basicamente o mix de produção era composto por bitolas iguais ou maiores de 8 mm e muito raramente produzia-se a bitola menores.

Estes laminadores possuíam leito do tipo calha de frenagem, o qual sempre teve como grande limitante a velocidade final permitida, uma vez que usualmente, tais leitos suportam no máximo receber a barra a uma velocidade de algo em torno de 12 m/s.

No anos 1980, foi desenvolvido o conceito do processo de laminação chamado *slitting*, conforme mostrado na Figura 1.

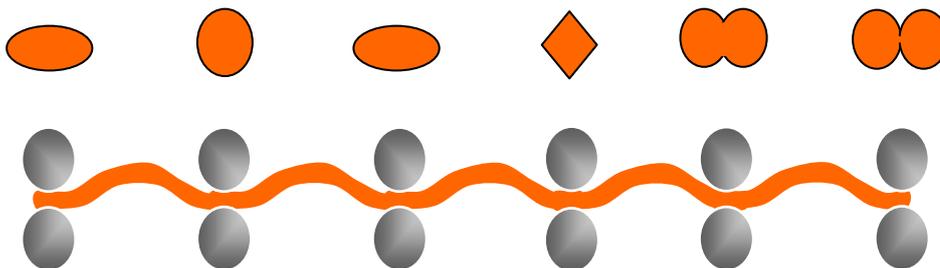


Figura 1. Lay out do processo de *slitting*.

Este processo permitiu que laminadores de veio único dividissem a barra em processo ao meio em seu sentido longitudinal simulando um laminador de dois veios em suas cadeiras finais. Este foi um grande salto para estes laminadores de vergalhão, pois com investimentos de pequena monta a produção nas bitolas mais finas e menos produtivas, simplesmente dobraram, gerando um salto no volume produzindo pela planta.

No início dos anos 1990, mais um salto tecnológico foi dado aos laminadores de vergalhão em barras retas, pois chegava ao mercado os primeiros leitos de resfriamento com o conceito HSD (*High Speed Delivery*).

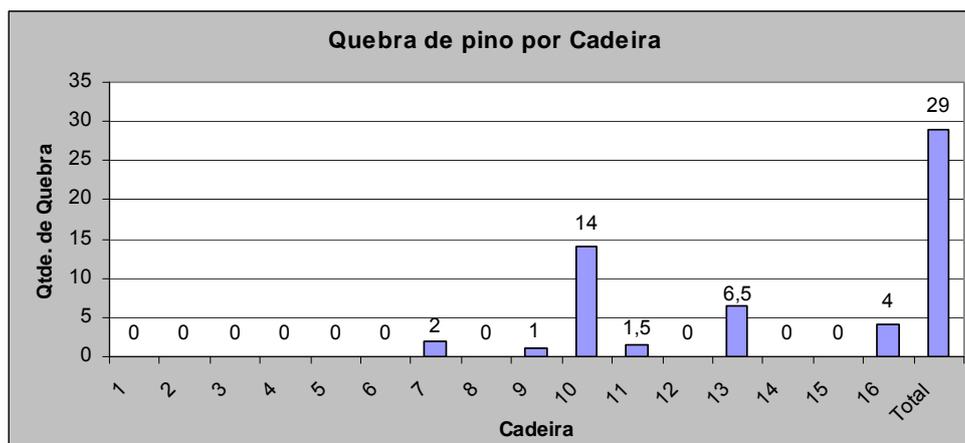
Estes leitos apresentavam novos conceitos de frenagem que permitia que a barra chegasse ao leito com até 34 m/s. E isto foi um grande avanço que permitiu pela primeira vez que laminadores de vergalhão em barras retas atingissem volumes de produção na ordem de 500 Kton/ano. Com esta nova tecnologia, os *lay-outs* destes laminadores mudaram. Para alcançar tais velocidades finais passou-se a utilizar blocos acabadores NTM (*No Twist Mill*), até então tipicamente dedicados aos laminadores de fio-máquina.

O laminador TL1 de Piracicaba, que foi projetado em 1997 e teve seu *start-up* em 1999, contempla exatamente estes conceitos.

Em 2002 iniciou-se a montagem do Laminador 2 de características semelhantes ao laminador 1 o qual iniciou as operações em 2004.

Porém desde o início de suas atividades o que se destacava negativamente no TL2, era o alto índice de sucata no trem intermediário devido à quebra dos pinos de cisalhamento.

A relevância deste tipo de sucata na composição da taxa de sucata do TL2 é apresentado na Figura 2. Neste gráfico pode-se notar que as ocorrências por quebra de pino de cisalhamento ocorriam em cadeiras distintas. Nota-se também que a cadeira número 10 foi a que mais apresentou quebra, obtendo uma média mensal de 1,16 quebra/mês no período avaliado.



**Figura 2.** Distribuição de ocorrência de sucatas por cadeira de laminação.

Depois de evidenciado que a cadeira número 10 apresenta maior índice de quebra, a mesma passou a ser objeto de estudo e todas as ações tomadas foram focadas na cadeira de número 10, para posteriormente realizar a abrangência para demais cadeiras.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização desse trabalho contou com o auxílio do PDCA.<sup>(1)</sup> Na etapa inicial, a utilização do Mapa de Processo foi de especial importância por trazer a todos os envolvidos no projeto clareza sobre as variáveis de atuação e principalmente os ruídos envolvidos.

As ações implementadas garantiram eliminação da quebra dos pinos de cisalhamento trazendo maior estabilidade para o processo.

A primeira etapa desenvolvida no trabalho foi mapear as variáveis que diretamente se relacionam com a quebra do pino de cisalhamento. As principais são: temperatura do tarugo, diâmetro dos discos de laminação, redução em altura, adequação e processo de montagem do pino de cisalhamento.

Dentre estas variáveis, descarta-se a redução em altura, pois o controle de altura é realizado de forma sistemática garantindo sempre as alturas padrão, dentro da faixa de tolerância.

Passamos então a coletar dados referentes à temperatura dos tarugos, diâmetro dos discos e torque de laminação, após uma quebra do pino de cisalhamento, para coletas dos dados foram definidas algumas premissas, são elas:

- registrar a menor temperatura do tarugo em um intervalo de 24 horas;
- registrar o maior torque da cadeira em que houve quebra do pino em um intervalo de 24 horas; e
- registrar qual o valor do diâmetro do cilindro que estava em uso durante as 24 horas que antecederam a quebra do pino de cisalhamento.

Na Arcelormittal Piracicaba estes dados são arquivados e suas consultas são de fácil acesso, o que possibilitou a análise de todas as variáveis acima citadas em um determinado período. Foi realizada a compilação dos dados referente ao período de Julho de 2008 á Julho de 2009, e transportada na forma gráfica.

A Figura 3 mostra em quais temperaturas de tarugo houve a quebra do pino de cisalhamento, desta forma fica claro que a quebras analisadas não estão relacionadas com a temperatura do tarugo.

De acordo com Wusatowski,<sup>(2)</sup> a Figura 4 mostra em quais diâmetros de cilindro houve quebra do pino de cisalhamento, e, como a quebra ocorre em diâmetros distintos também podemos afirmar que nestes casos a quebra não está relacionada com diâmetro de cilindro.

A Figura 5 mostra o nível de torque de laminação nas 24 h antes da ocorrência de quebra, através do qual também pode-se afirmar que não houve quebra relacionada a sobre torque de laminação.

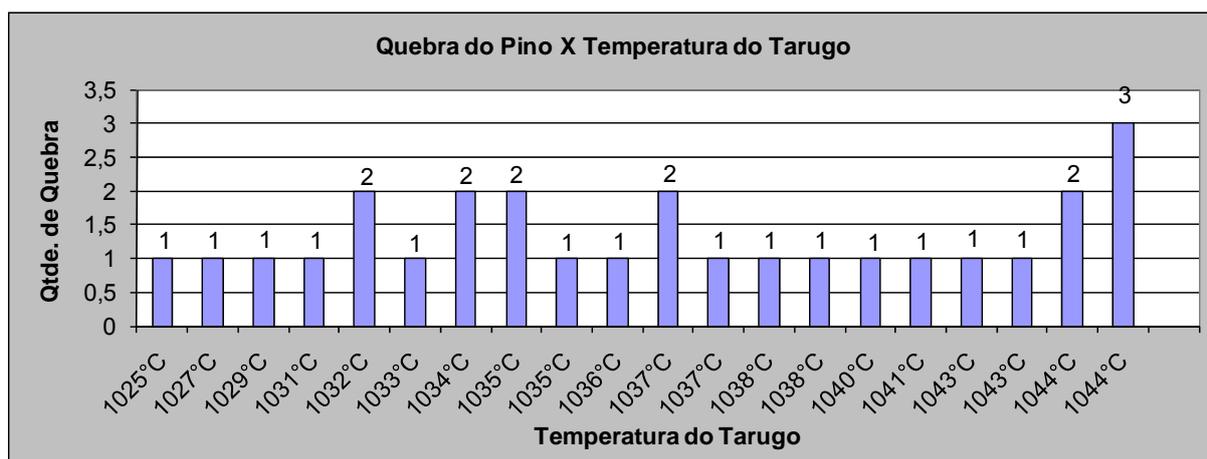


Figura 3. Quebra do pino X Temperatura do tarugo.

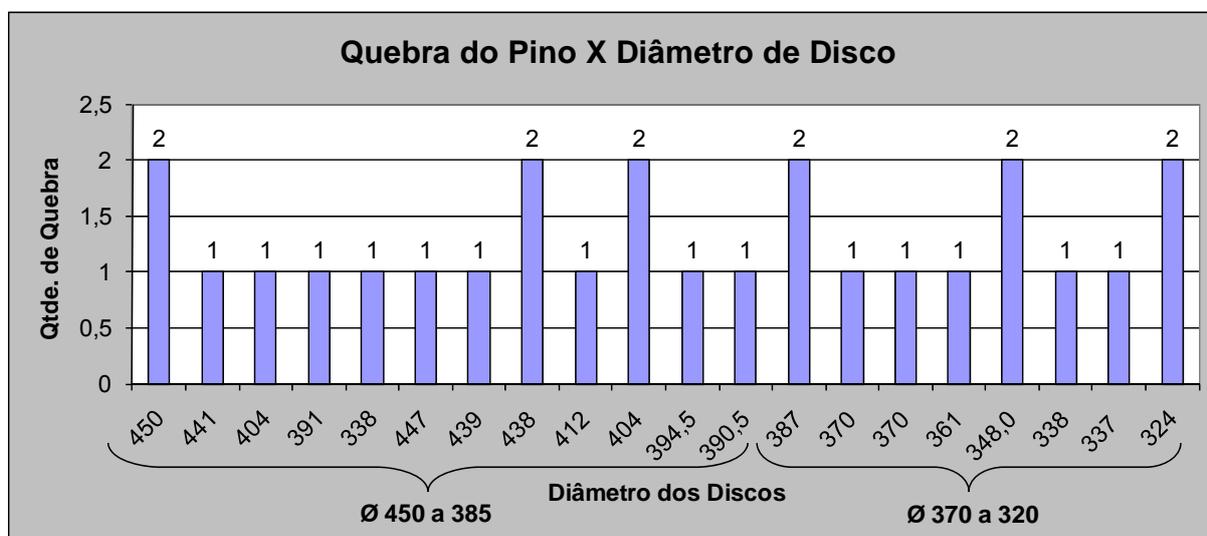


Figura 4. quebra do pino X diâmetro de disco de laminação.

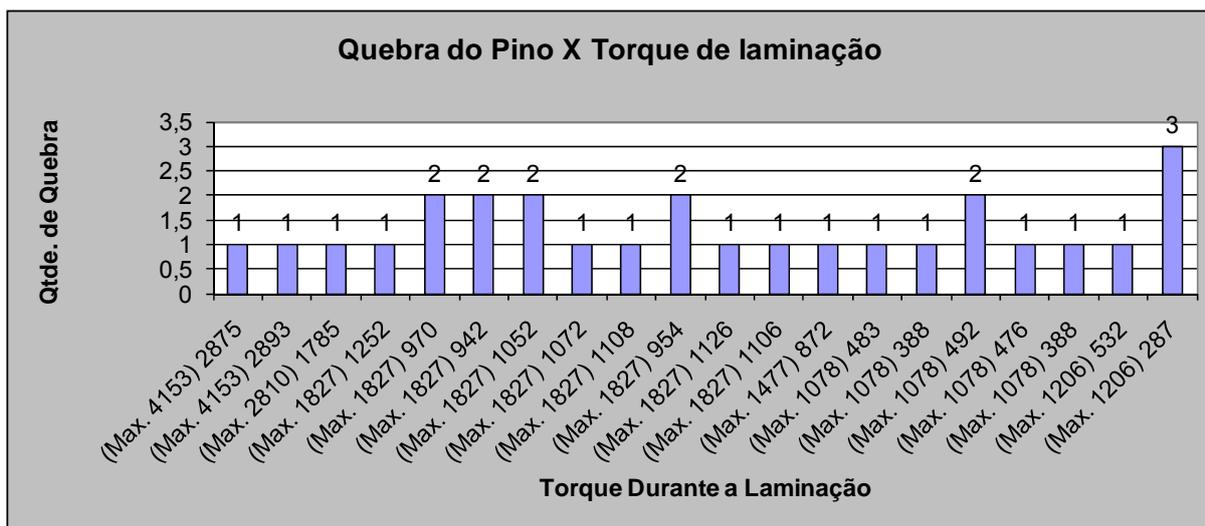


Figura 5. Quebra do pino X torque de laminação.

Mediante a análise, pode-se constatar que as quebras analisadas não tem nenhuma ligação com a temperatura do material, diâmetro do cilindro e torque de laminação.

Nesta etapa do trabalho foi efetuado um estudo dos projetos dos equipamentos e dos elementos de proteção com o objetivo de detectar possíveis falhas. Abaixo o diagrama de *Ishikawa* (Figura 6), através do qual foram estudadas e destacadas as principais causas.

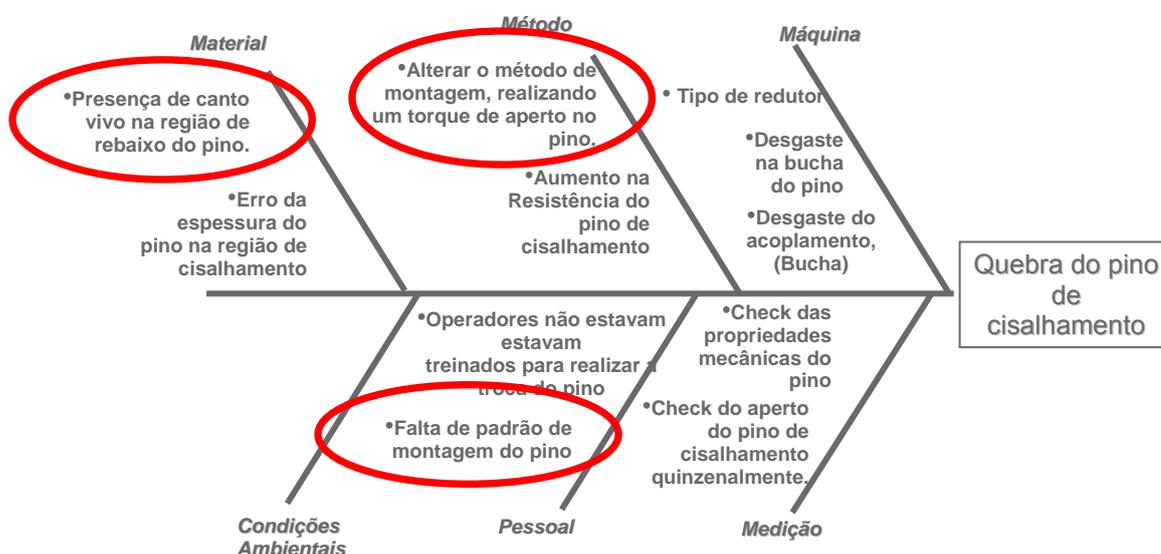


Figura 6. Diagrama de *Ishikawa*.

Ao analisar as principais causas, notou-se que em algumas quebras os pinos de cisalhamento apresentavam um início de fadiga na região de canto vivo do pino, conforme Figura 7.

De acordo com Antunes<sup>(3)</sup> este canto vivo é um acumulador de tensão que poderia estar fragilizando o material, e decorrente desta análise houve uma alteração no desenho de modo a eliminar o canto vivo.

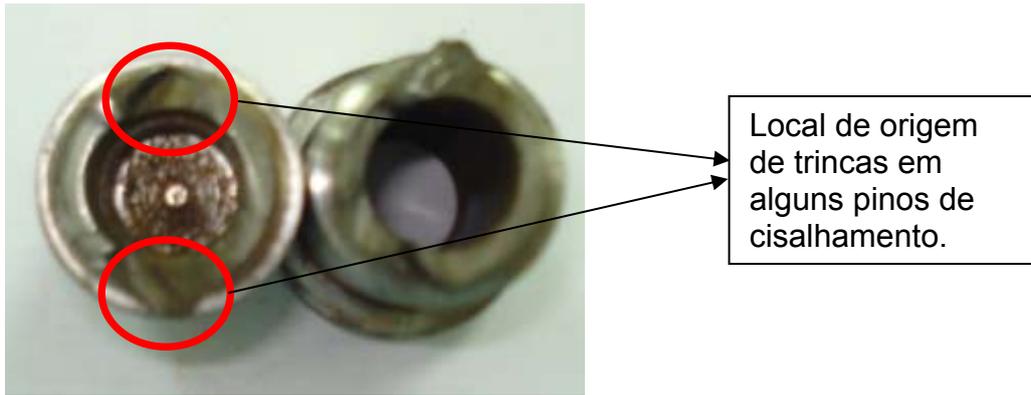


Figura 7. Pino de cisalhamento após quebra.

Na próxima etapa do projeto foi feito o estudo para determinar o correto torque de aperto a ser aplicado no pino de cisalhamento durante sua montagem.

Este conceito é utilizado em uma infinidade de itens fixadores destinados a uniões de peças, tais como pino com porcas, pinos com porcas prisioneiras, pinos prisioneiros etc.

A junção de acoplamentos por meio de pinos de cisalhamento é vantajosa, pois permite a manutenção e oferece várias formas de utilização, como transmissão de força, ajustagem, movimentos etc.

Porém as junções por pinos e porcas sujeitas a vibrações, afrouxam e, portanto requerem dispositivos de segurança para os seus travamentos. Exemplo de dispositivos de segurança: arruelas com travas, contraporcas, trava química etc.

O dimensionamento, na realidade, é uma seleção dos elementos de fixação, uma vez que os pinos e porcas são elementos padronizados e também comerciais.

As únicas especificações não padronizadas são a profundidade do furo roscado e o torque de aperto, que serão definidas para cada aplicação.

Em geral, os pinos são dimensionados ou à tração ou ao cisalhamento, sendo que estes casos ocorrem em formas diferentes de sollicitação, e para o nosso caso estaremos realizando o dimensionamento para a tensão de cisalhamento.

Os pinos que fixarão as flanges do acoplamento trabalham com pré-carga, sob tensão e deverão ser corretamente dimensionados para não sofrerem deformações na montagem (torque de aperto).

Se não forem corretamente dimensionados, quando sofrerem o torque de aperto, não poderão ser reaproveitados em outra montagem porque sofrerão deformações longitudinalmente.

Observe no formulário abaixo que a força tangencial cortante “F” depende fundamentalmente da força de aperto “Q”, e por sua vez, a força de aperto “Q” é bem maior que a força cortante “F” razão pela qual se degolam facilmente os parafusos pequenos e geralmente não se apertam suficientemente os parafusos grandes.

Formulário

$$F = 2 \times Mt \times \left( \frac{Fs}{z \times k} \right) \quad (01)$$

$$Mt = 71620 \times \frac{N}{n} \quad (02)$$

$$Q = \frac{F}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} \quad (03)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times \sigma_{ad}}} \quad (04)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{p}{\pi \times d_2} \quad (05)$$

$$\sigma_{ad} = \frac{\sigma_e}{s} \quad (06)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg} \alpha \times \operatorname{tg} \varphi} \quad (07)$$

Onde: Fs = fator de serviço (Fs = 1,25 – 1,35)  
 F = força cortante agente no parafuso (kgf)  
 71620 = constante de transformação de unidade  
 N = potência a transmitir (CV)  
 z = número de parafusos  
 k = diâmetro da circunferência onde estão os parafusos (cm)  
 n = rotação do eixo (rpm)  
 Q = carga cortante de cisalhamento  
 $\varphi$  = ângulo de atrito. Para contato aço / aço =  $\operatorname{tg} \varphi = 0,18$   
 $\alpha$  = ângulo de inclinação da hélice da rosca. Para rosca métrica com passo e diâmetro médio definidos  $\alpha \approx 2,5^\circ$   
 p = passo da rosca (mm)  
 d<sub>2</sub> = diâmetro médio da rosca  
 d<sub>1</sub> = diâmetro do núcleo da rosca  
 $\sigma_{ad}$  = tensão normal admissível do material  
 $\sigma_e$  = tensão de escoamento do material (tabelado)  
 s = coeficiente de segurança, (3,5 a 6,5).

Cálculo do torque de aperto.

$$T = y \times Q \times de \quad (08)$$

Onde: T = torque de aperto (kgf.cm)  
 de = diâmetro externo da rosca (mm)  
 y = coeficiente de torque:  
 0,1 = rosca lubrificada  
 0,35 = rosca fina  
 0,2 = valor usual para rosca normal.

Exemplo:

Determinar o correto aperto do pino de cisalhamento, para que o mesmo possa atuar de forma a suportar um torque de 20% a mais que o torque normal de laminação. O acionamento será feito por um motor de 612CV e com uma rotação base de 500 rpm, o material a ser utilizado possui um limite de escoamento de 8157,6 kgf/cm<sup>2</sup>, o torque máximo de laminação é de 42426,3kgf.cm e o torque máximo do redutor é de 87662,88 kgf.cm. O sistema possui dois pinos de

cisalhamento e o diâmetro onde estão alojados os pinos é de 18,75cm, o pino possui um diâmetro externo de 2,3cm e diâmetro interno de 1,72cm.

$$(06) \sigma_{ad} = \frac{\sigma_e}{s} \text{ segundo Antunes } s = 2,25$$

$$(06) \sigma_{ad} = \frac{8157,6}{2,5} \quad \sigma_{ad} = 3625,6 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{\text{área}} = A_{\text{maior}} - A_{\text{menor}} \quad A_{\text{área}} = 1,83\text{cm}^2$$

$$F_s = 2,25$$

$$(02) M_t = 42426,3 + 20 \% = 50911,56 \text{ kgf.cm}^2$$

$$(01) F = 2 \times M_t \times \left( \frac{F_s}{z \times k} \right) = 2 \times 50911,56 \times \left( \frac{2,25}{2 \times 18,75} \right) = F = 6109,39 \text{ kgf}$$

$$(03) Q = 6639,32 \text{ kgf}$$

$$de = 1,83 \text{ cm}$$

$$y = 0,2$$

$$(08) T = y \times Q \times de = T = 24,32 \text{ kgf.m}$$

### 3 RESULTADOS

As alterações foram realizadas durante a parada de manutenção do mês de Dezembro de 2009.

A partir de Janeiro de 2010 não ocorreram mais quebras do pino de cisalhamento, o que demonstra a eficácia das medidas adotadas.

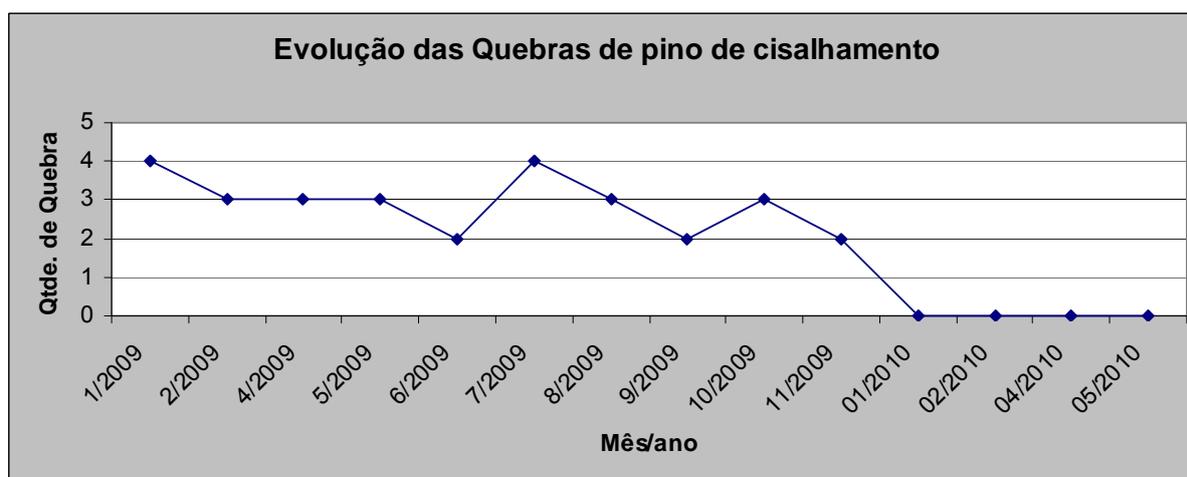


Figura 8. Evolução das quebras de pinos de cisalhamento.

## 4 CONCLUSÃO

A produtividade de um laminador é fortemente afetada por paradas corretivas não programadas.

O redimensionamento e a nova metodologia de montagem dos pinos de cisalhamento trouxeram um grande ganho para o processo tornando-o mais confiável.

A simplicidade da solução proposta facilita ainda a manutenção do sistema de transmissão e reduz os custos decorrentes de interrupções, sucatas e reposição dos pinos.

## REFERÊNCIAS

- 1 PEREZ-WILSON, M. *Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1999.
- 2 Wusatowski-Zygmunt, *Fundamentals of Rolling*: 1ª edição, Pergamon 1969.
- 3 ANTUNEZ-IZILDO, *Elementos de Máquina*. 7ª edição Érica Ltda, 1997.