

DESENVOLVIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE EMERGÊNCIA DEVIDO QUEBRA DO EIXO INTERMEDIÁRIO DO REDUTOR DA GAIOLA 4 DO TREM DESBASTADOR TL1¹

*Flávio Augusto Ottan²
José Lutero Rodrigues Junior³
Paulo Rogério de Oliveira⁴
Roberto de Cerqueira Coda⁵
Rodrigo Citrangulo Daniel Luiz⁶*

Resumo

Este trabalho tem como objetivo demonstrar por meio de estudos técnico-científicos, como foi realizada a produção de vergalhões com um passe de calibração a menos, devido a quebra do eixo intermediário do redutor da cadeira 4 do laminador 1 da ArcelorMittal Piracicaba. A ArcelorMittal Piracicaba tem uma prática de manutenção preventiva, onde conforme o plano de manutenção são realizadas análise de vibração de todos os redutores. De forma inesperada, sem a prévia detecção através da análise de vibração, no dia 30/01/2011 (Domingo) às 8h47, ocorreu a quebra do eixo intermediário do redutor da cadeira 4 do laminador 1. Diante desta situação foi necessário aplicar o plano de contingência que havia sido desenvolvido em 2003 pela empresa Copar Engenharia Ltda. Este plano tem por objetivo estabelecer uma alternativa operacional para o laminador nas situações de indisponibilidade de algum componente do equipamento que não possua uma reserva para substituição imediata, minimizando desta forma o tempo de parada do laminador, facilitando a posta em marcha e garantindo assim o cumprimento do planejamento da produção e conseqüentemente o atendimento ao cliente final. Este estudo é baseado na análise dos projetos dos equipamentos envolvidos e das práticas de calibração adotada, permitindo a alteração do plano de passe atual. O resultado obtido foi a produção de 14 dias sem a cadeira 4, demonstrando a importância do profundo conhecimento do projeto do equipamento e do conhecimento empírico de calibração de produtos longos, conjunto este de informações que foi indispensável para garantir a continuidade da produção, frente a um problema que levaria a paralisação na produção de vergalhões no laminador 1 da ArcelorMittal Piracicaba de aproximadamente 14 dias, influenciando no abastecimento do mercado e conseqüentemente na credibilidade da organização perante seus clientes.

Palavras-chave: Calibração de emergência; Seis Sigma; PDCA.

DEVELOPMENT OF CALIBRATION OF EMERGENCY DUE INTERMEDIATE SHAFT IN ADDITION OF GEAR BOX OF ROLL STAND 4 OF THE TRAIN ROLLING MILL TL1

Abstract

This paper shows an emergency calibration done to allow rebar production without a stand at ArcelorMittal Piracicaba Rolling Mill 1 (TL1). The gearbox of stand 4 had one of its shafts broken and the use of the stand was not possible anymore. ArcelorMittal Piracicaba uses a predictive maintenance practice using vibration analysis but, unexpectedly the intermediate shaft broke on January 30 of 2011 at 8:47 AM. The unexpected situation, forced us to apply a contingency plan developed in 2003 by Copar Engenharia Ltda. This plan's main goal was to determine operational alternatives for rolling in case of unavailable equipments without spare parts to allow production and customer's deliveries. The study done was based on the analysis of the equipments and the rolling passes strategy. The result was 14 days producing supplying markets needs and assuring the company image for its customers. This paper also demonstrate how rolling process knowledge and the project characteristics helped solving the problem.

Key words: Calibration of emergency; Six Sigma; PDCA.

¹ Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP.

² Engenheiro Mecânico da ArcelorMittal Piracicaba.

³ Gerente de Processo de produção de Laminados da ArcelorMittal Piracicaba.

⁴ Supervisor de Oficina de Cilindros da ArcelorMittal Piracicaba.

⁵ Diretor da Copar Engenharia Ltda.

⁶ Engenheiro Mecânico da ArcelorMittal Piracicaba.

1 INTRODUÇÃO

O *start-up* do laminador 1 da ArcelorMittal ocorreu em 1999. O laminador possui um trem desbastador com 7 cadeiras, um trem intermediário com 6 cadeiras e blocos laminadores (processo *slitting*) NTM (*No Twist Mill*) com 8 cadeiras, e leito de resfriamento com 63 metros de comprimento. Este laminador tem capacidade de produzir 500 mil t/ano de vergalhões em barras de 6 mm a 32 mm para atendimento ao mercado da construção civil.

Para a produção dos vergalhões acima descritos é necessário a elaboração do plano de passes do laminador, ou seja, é necessário desenvolver a calibração do laminador que de acordo com Rizzo,⁽¹⁾ o termo calibração é utilizado de forma simplificada para designar o projeto do plano de passes utilizado para executar a laminação de produtos longos. Na calibração é efetuada a distribuição da deformação total desejada no material em um conjunto de deformações intermediárias até que se obtenha o produto final desejado. Uma série de deformações intermediária é denominada de sequência de passe. Cada passe é representado por um canal, cuja forma, dimensão e localização ao longo da mesa de um cilindro de laminação e nas diversas cadeiras que constituem o trem de laminação são definidas no projeto de calibração.

Segundo Rizzo,⁽¹⁾ analisando a evolução da realização do projeto de calibração nas usinas siderúrgicas, nota-se que esta atividade foi durante muito tempo tratada como uma arte que não podia ser ensinada ou aprendida, uma vez que era tratada por profissionais, normalmente estrangeiros, que não abriam mão de manter o seu segredo. Com o passar dos anos este paradigma começou a ser quebrado graças ao trabalho por entidades como a ABM e por um estilo gerencial mais aberto e participativo adotado pelas empresas.

Na realização de um projeto de calibração de um determinado produto, devem ser considerados fatores como:

- arranjo físico da linha de laminação;
- potência e velocidade de rotação dos motores e torque máximo permitido ao longo do trem de laminação;
- sistema de guiagem e de controle de formação de laço e tração;
- tipo de cadeiras (cedagem da cadeira, método de ajuste de luz etc.);
- dimensões dos cilindros;
- ângulo de agarre;
- tipo de capacidade dos fornos;
- temperatura inicial e final do esboço;
- dimensões e forma dos produtos;
- dimensões dos tarugos;
- tolerâncias dimensionais;
- tipo de aço;
- assegurar aos funcionários das áreas de operação, manutenção e controle de qualidade envolvidos no processo, condições de um trabalho seguro e o menos penoso possível.

A Figura 1 nos mostra o *layout* da calibração do trem desbastador e do trem intermediário, totalizando 13 passes de laminação (P1 a P13), utilizado para o processo *slitting*.

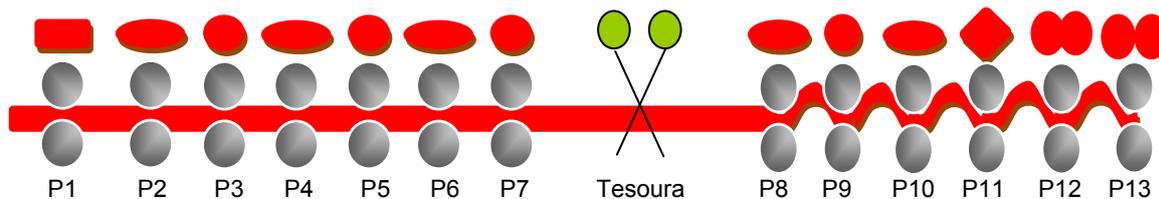


Figura 1. Layout da calibração do trem desbastador e trem intermediário utilizando processo *slitting*.

No dia 30/01/2011, durante a produção da bitola 8,0 mm ocorreu a quebra do eixo intermediário do redutor da cadeia 4 da ArcelorMittal Piracicaba (Figura 2). Em função da definição da organização quanto a estratégia de sobressalentes, não possuímos para esta posição um redutor reserva para substituição imediata, sendo necessário implementar o plano de contingência elaborado pela Copar Engenharia Ltda, como veremos no próximo capítulo.

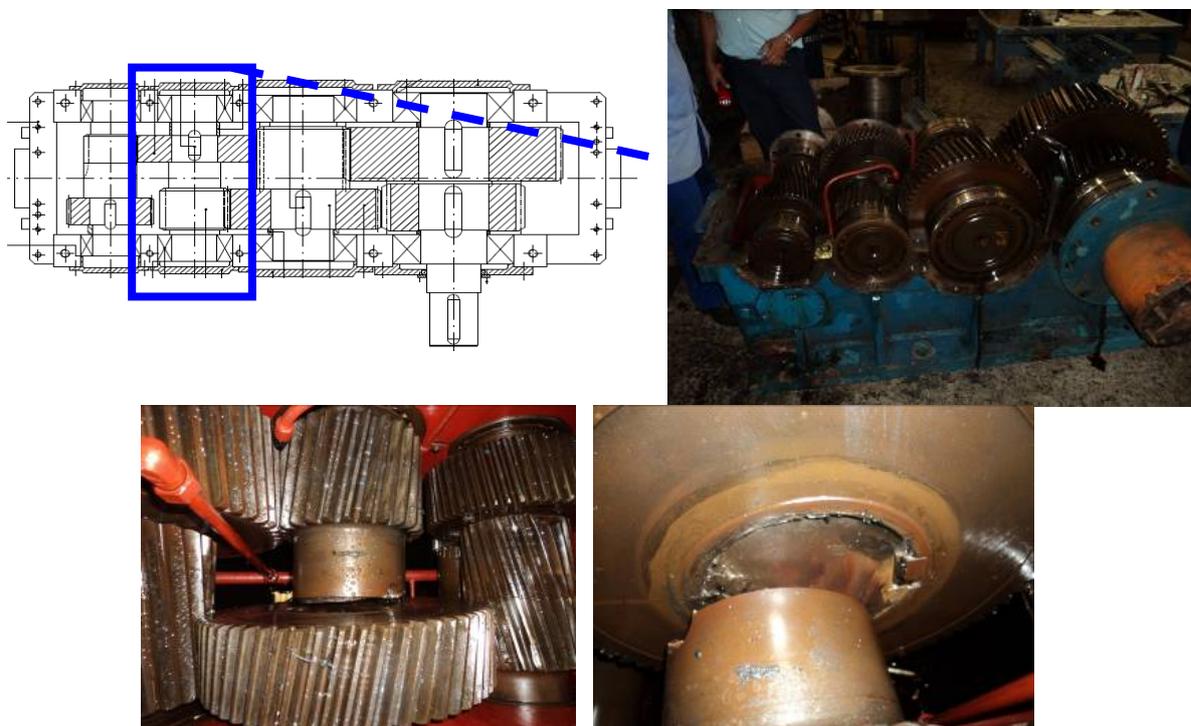


Figura 2. Local onde ocorreu a quebra do redutor da gaiola 4.

2 CONCEITO DE PLANO DE CONTINGÊNCIA

De acordo com Coda⁽²⁾ o plano de contingências para laminadores de produtos longos consiste em preparar calibrações de emergência para cada possibilidade de falha de gaiolas individualmente, permitindo que o laminador volte a operar no menor tempo possível, de forma a reduzir a perda de produção devida ao evento de falha ocorrido.

Para isto é preparado um projeto individual de calibração de emergência para a operação do laminador considerando a falha de cada gaiola individualmente. Este conjunto de projetos individuais forma o Plano de Contingências Global do laminador.

Exemplo de um laminador com n gaiolas: plano 1 - contingência individual da gaiola 1; plano 2 - contingência individual da gaiola 2; plano 3 - contingência

individual da gaiola 3; e assim por diante até plano n - contingência individual da gaiola n.

O Plano de Contingências Global é o conjunto de planos individuais indicados acima permitindo ao laminador estar sempre preparado com conceitos claros do que fazer quando ocorrer um evento de falha em uma das gaiolas do mesmo.

Neste caso é desenvolvido o conceito de segurança de operação para eventos de falhas aleatórias e não previstas. O laminador está sempre seguro no sentido de realizar procedimentos com paradas curtas em tempo, mesmo que a falha ocorrida seja uma falha não esperada.

Os principais aspectos considerados na execução de planos de contingências individuais estão apresentados a seguir:

- utilizar o máximo possível de canais já existentes na calibração usual do laminador, criando assim uma menor quantidade de novos canais especiais para a situação de contingência, e desta forma facilitando a preparação do retorno à produção quando houver uma falha de emergência;
- estudar a redistribuição da deformação nos passes, expressa nas reduções de área de cada passe, de forma a não exceder os limites de redução especificados pelo conhecimento de laminação, determinando para os passes novas reduções de área que não provoquem problemas de qualidade como aumento de defeitos superficiais, ou de defeitos internos, ou ainda dificuldade para laminar; e
- verificar a segurança dos equipamentos existentes em todas as gaiolas a partir da definição de uma estimativa de cálculo precisa para os esforços resultantes nos passes da nova calibração de emergência: força, torque e potência, fazendo isto para todas as gaiolas onde houver novo passe ou redistribuição de reduções.

Como conclusão, o plano de contingências global é uma necessidade para as empresas laminadoras que assumem compromisso com a continuidade de produção dentro de qualquer cenário adverso que possa vir a ser constituído no futuro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Análise do Processo (Estudo Inicial).

A realização desse trabalho contou com o auxílio do PDCA,⁽³⁾ 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.

Com base no plano de contingência, elaborado pela Copar Engenharia Ltda., referente à indisponibilidade de utilização da cadeira 4, a calibração do laminador 1 sofreu uma alteração (Tabela 1), a Figura 3 mostra um esquema ilustrativo da calibração antes da quebra do redutor e a Figura 4 um esquema após a quebra do redutor.

Tabela 1. Comparativo de calibração antes da quebra e após a quebra do eixo intermediário do redutor da cadeira 4, o passe P8 foi usinado para esta calibração

Antes da Quebra do Redutor			Depois da Quebra do Redutor		
Cadeira	Passe	Perfil do Canal	Cadeira	Passe	Perfil do Canal
1	P1	Caixa	1	P1	Caixa
2	P2	Oval	2	P2	Oval
3	P3	Redondo	3	P3	Redondo
4	P4	Oval	4	P4	Dummy
5	P5	Redondo	5	P5	Oval
6	P6	Oval	6	P6	Redondo
7	P7	Redondo	7	P7	Oval
8	P8	Oval	8	P8	Quadrado
9	P9	Redondo	9	P9	Oval
10	P10	Oval	10	P10	Oval
11	P11	Quadrado	11	P11	Quadrado
12	P12	<i>Dog Bone</i>	12	P12	<i>Dog Bone</i>
13	P13	<i>Slitter</i>	13	P13	<i>Slitter</i>

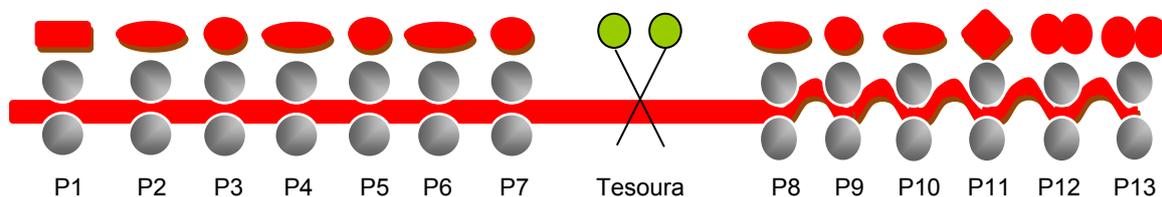


Figura 3. Esquema de calibração antes da quebra do eixo intermediário do redutor da cadeira 4.

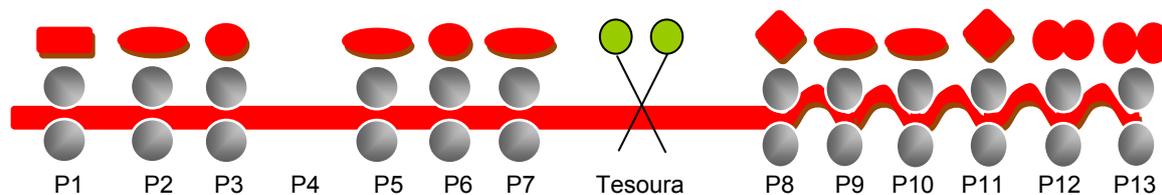


Figura 4. Esquema de calibração após da quebra do eixo intermediário do redutor da cadeira 4.

3.2 Análise do Processo (*Brainstorming*)

Para analisar a ocorrência reunimos um grupo de estudo que com base no plano de contingência verificamos os possíveis problemas (causas) bem como seus efeitos. Os dados estão apresentados no diagrama de *Ishikawa* (Figura 5).

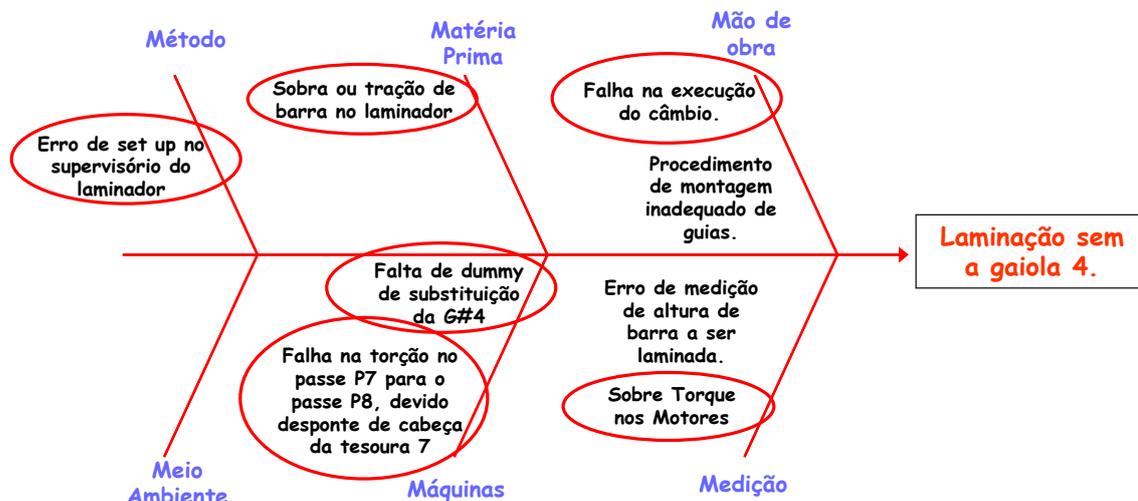


Figura 5. diagrama de *Ishikawa*.

3.3 Análise do Processo: (Elaboração do Plano de Ação).

Inicialmente transportamos para o *software Hot Rolling System (HRS)*, as informações contidas no plano de contingência para permitir a análise das principais variáveis de processo (Figura 6).

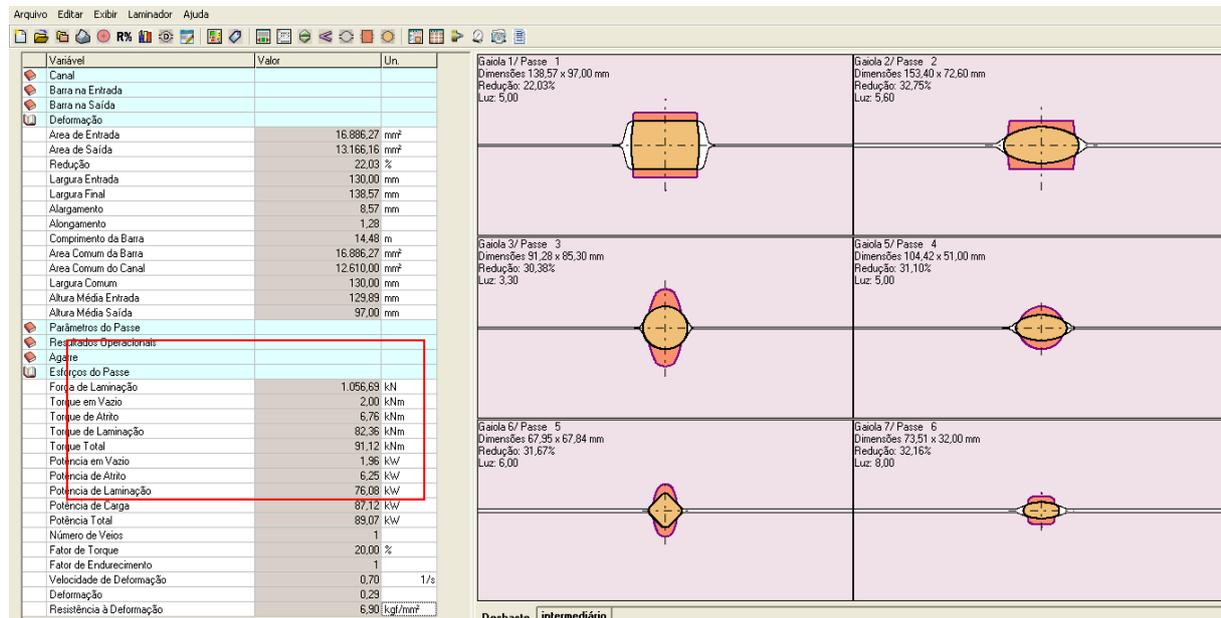


Figura 6. Área de trabalho do software HRS.

Através do *Software HRS* foi possível confirmar as principais causas influentes no problema, após esta análise, foi elaborado e executado o plano de ação abaixo descrito (Tabela 2).

Tabela 2. Plano de ação

Item	Causa Raiz	O que fazer?	Por quê?	Como?	Quem?	Quando?	Status
1	Erro de set up no supervisor do laminador	Elaborar receita da bitola para realização do teste	Para facilitar a atividade do operador da cabine no momento do câmbio	Analisando as velocidades e áreas de cada passe.	Rodrigo Citrangulo José Lutero	30/jan	
2	Sobra ou tração de barra no Laminador	Elaborar plano de passe da bitola para realização do teste (SW - HRS)	Eliminar possibilidade de erro na forma geométrica da barra em cada passe.	Analisando altura e largura de cada passe.	Rodrigo Citrangulo Flávio Ottani	30/jan	
3	Sobre torque dos motores.	Realizar análise sobre influência da temperatura do tarugo	Reduzir torque de laminação	Analisando efeito da temperatura no torque de laminação através do SW - HRS	Rodrigo Citrangulo	30/jan	
4	Falta de dummy de substituição da gaiola 4	Desenvolver calha de ligação da gaiola 3 á gaiola 5	Para conduzir a barra, realizando um by-pass na gaiola 4	Contratando serviço de caldeiraria.	Carlos Chiodi	30/jan	
5	Falha na execução do câmbio	Elaborar chek list com todas as atividades de câmbio	Eliminar possibilidade de falha na atividade de câmbio	Analisando todas as mudanças que irão acontecer para a execução do câmbio	Flávio Ottani	30/jan	
6	Falha na torção no passe P7 para o passe P8, devido desponete de cabeça na tesoura 7	Realizar simulação em Auto CAD e cálculo de torção.	Eliminar possibilidade de sucata por excesso ou falta de torção	Analisando perfil de canal, distância entre gaiolas, etc.	Paulo Rogério	30/jan	

3.4 Análise do Processo: (Execução do Plano de Ação).

Todas as ações foram amplamente discutidas e executadas (Tabela 3) durante a execução do plano de ação não se observou nenhum efeito indesejável.

Tabela 3. Plano de ação

Item	Causa Raiz	O que fazer?	Por quê?	Como?	Quem?	Quando?	Status
1	Erro de set up no supervisão do laminador	Elaborar receita da bitola para realização do teste	Para facilitar a atividade do operador da cabine no momento do câmbio	Analisando as velocidades e áreas de cada passe.	Rodrigo Citrangulo José Lutero	30/jan	Concluído
2	Sobra ou tração de barra no Laminador	Elaborar plano de passe da bitola para realização do teste (SW - HRS)	Eliminar possibilidade de erro na forma geométrica da barra em cada passe.	Analisando altura e largura de cada passe.	Rodrigo Citrangulo Flávio Ottani	30/jan	Concluído
3	Sobre torque dos motores.	Realizar análise sobre influência da temperatura do tarugo	Reduzir torque de laminação	Analisando efeito da temperatura no torque de laminação através do SW - HRS	Rodrigo Citrangulo	30/jan	Concluído
4	Falta de dummy de substituição da gaiola 4	Desenvolver calha de ligação da gaiola 3 à gaiola 5	Para conduzir a barra, realizando um by-pass na gaiola 4	Contratando serviço de caldeiraria.	Carlos Chiodi	30/jan	Concluído
5	Falha na execução do câmbio	Elaborar chek list com todas as atividades de câmbio	Eliminar possibilidade de falha na atividade de câmbio	Analisando todas as mudanças que irão acontecer para a execução do câmbio	Flávio Ottani	30/jan	Concluído
6	Falha na torção no passe P7 para o passe P8, devido desponete de cabeça na tesoura 7	Realizar simulação em Auto CAD e cálculo de torção.	Eliminar possibilidade de sucata por excesso ou falta de torção	Analisando perfil de canal, distância entre gaiolas, etc.	Paulo Rogério	30/jan	Concluído

Dentro das ações propostas e realizadas destacamos os itens 3 e 6 que consideramos fundamentais para o sucesso na implementação do plano de contingência.

No item número 3, percebemos que algumas cadeiras apresentariam problemas relacionados ao torque de laminação, pois estão muito próximo ou acima do torque de segurança (Figura 7).

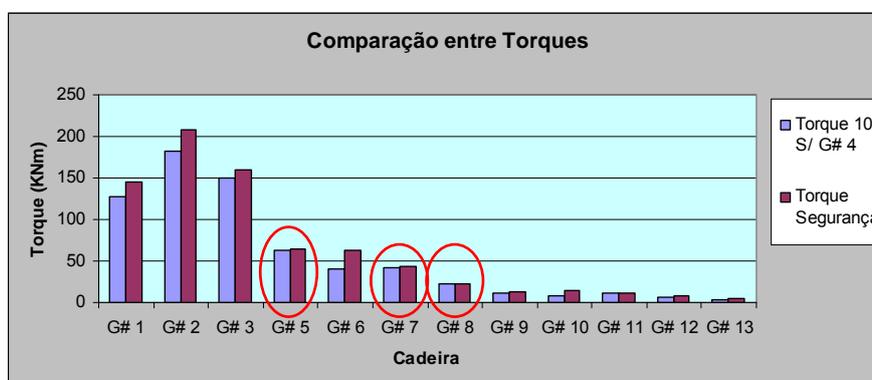


Figura 7. Gráfico comparativo entre torque sem a cadeira 4 e torque de segurança.

Com a utilização do *software* HRS, foram feitas tentativas para eliminar ou minimizar este problema, como por exemplo, variação da altura do passe de laminação, para aliviar a cadeia que apresenta o sobre torque, porém sem sucesso.

Passamos então a aumentar a temperatura do tarugo, que trouxe resultados satisfatórios (Figura 8), podemos notar que o torque para a bitola 10,0 mm com temperatura de 1.030°C (valor padrão desta bitola), apresenta um torque acima do torque de segurança, recomendado pelo fabricante do redutor, quando se eleva a temperatura para um patamar de 1.080°C os torques das cadeiras em destaque caem para níveis inferiores ao torque de segurança.

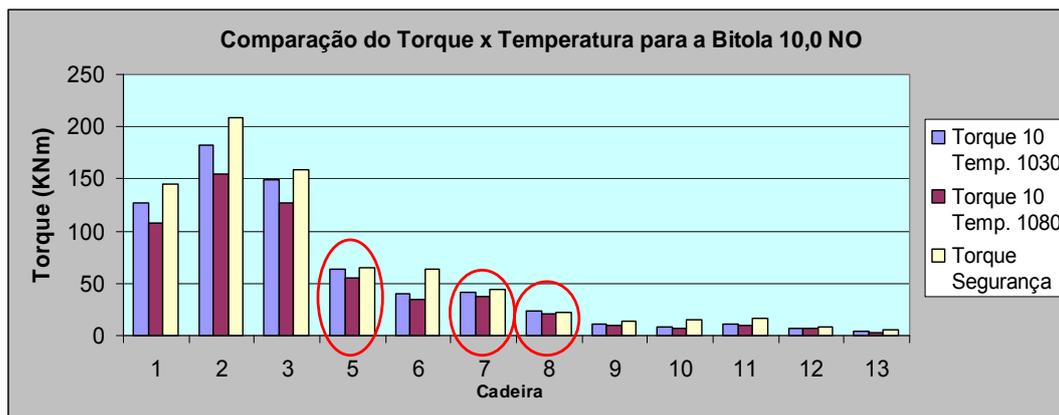


Figura 8. Comparativo de torque x temperatura de tarugo.

Outro item que consideramos fundamental foi o item 6, para esta atividade foi realizado um estudo de torção através de simulações via *software* Auto CAD (Figura 9), para correto grau da guia de torção e abertura de rolos das guias.

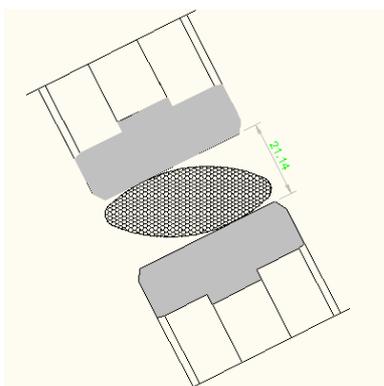


Figura 9. Simulação da guia de torção.

4 REALIZAÇÃO DO TESTE

Após a conclusão das ações propostas iniciamos o teste do plano de contingência no dia 30/01/11 às 23h, ou seja, aproximadamente 14 horas após a ocorrência da quebra do redutor da cadeira 4. Durante o teste foram necessários utilizar 5 tarugos para ajustes operacionais nas variáveis de processo que destacamos no plano de ação anteriormente apresentado, ou seja, ajustes finos no grau de torção do passe P7 e na homogeneização da temperatura do tarugo em aprox. 1.080°C para garantir torques de laminação abaixo do torque de segurança dos motores das cadeiras 5, 7 e 8 principalmente.

Monitoramos o torque real das cadeiras, através de coletas de informações de processo como a tensão de armadura, corrente de armadura e rotação dos motores do trem Desbastador e trem Intermediário, que aplicamos nas seguintes fórmulas:

- de acordo com Antunes:⁽⁴⁾

$$T_{L \rightarrow M} = 9,55 \times \left(\frac{P}{N_C} \right)$$

$$N_C = \frac{N_M}{i}$$

- conforme site <http://www.efeitojoule.com/2010/06/potencia-eletrica-potencia-eletrica.html>:⁽⁵⁾

$$P = U \times I$$

Onde:

- $T_{L \rightarrow M}$ = torque de laminação referente a esforços do motor, resultado em KN.m
- P = potencia do motor, resultado em KW;
- 9,55 = constante de transformação de unidade;
- N_C = rotação do cilindro, unidade em RPM;
- N_M = rotação do motor, unidade em RPM;
- i = relação de transmissão do redutor;
- U = tensão de armadura, unidade em *Volts (V)*;
- I = corrente elétrica de armadura, unidade em *Amperes (A)*.

5 EXEMPLO

Determinar o torque de laminação da cadeira 6 na bitola 8,0 mm, sabemos que durante a laminação a corrente de armadura é de 490A e a tensão de armadura de 430 V e rotação do motor de 942 RPM. O redutor possui uma relação de transmissão de 16,79:1. Sabemos que o torque de segurança deste redutor é de 63,1 KN.m, verificar se o torque de laminação esta abaixo do torque de segurança.

$$P = U \times I$$

$$P = 430V \times 490A$$

$$P = 210,7KW$$

$$N_C = \frac{N_M}{i}$$

$$N_C = \frac{942RPM}{16,79}$$

$$N_C = 56,10RPM$$

$$T_{L \rightarrow M} = 9,55 \times \left(\frac{P}{N_C} \right)$$

$$T_{L \rightarrow M} = 9,55 \times \left(\frac{210,7KW}{56,10RPM} \right)$$

$$T_{L \rightarrow M} = 35,87KN.m$$

Resposta: o torque de laminação esta abaixo do torque de segurança, pois $T_{L \rightarrow M} = 35,87 \text{ KN.m}$ é menor que torque de segurança = 63,1 KN.m.

6 RESULTADOS

A utilização do plano de contingência permitiu garantir o cumprimento da programação de produção prevista para o laminador até a recuperação do redutor, que foi realizada em um período de 14 dias (Tabela 4).

Tabela 4. Programação de produção

Programação de Produção do Laminador TL1			
Período	Bitola	Produção Programada	Produção Realizada
1/02 até 15/02	10,0	15450	15341
	8,0		
	6,3		

7 CONCLUSÃO

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

A prévia elaboração do plano de contingência e a simulação do torque de laminação foram primordiais para reduzir o tempo de retomada da produção (14 horas), minimizando as perdas de produtividade e garantindo o atendimento ao planejado.

REFERÊNCIAS

- 1 RIZZO - ERNANDES, Processos de Laminação de Produtos Longos de Aço. Associação Brasileira de Metalurgia Materiais e Mineração, 2010.
- 2 CODA – ROBERTO, Plano de Contingência do Laminador TL1. Copar Engenharia LTDA, 2003.
- 3 PEREZ-WILSON, M. *Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1999.
- 4 ANTUNEZ-IZILDO, Elementos de Máquina. 7ª edição Érica Ltda, 1997.
- 5 EFEITO JOULE. <http://www.efeitojoule.com/2010/06/potencia-eletrica-potencia-eletrica.html>