

DETERMINAÇÃO DOS TORQUES DE LAMINAÇÃO ATRAVÉS DO USO DE STRAIN GAUGES NOS EIXOS DE ACIONAMENTO DO LTQ ARCELOR MITTAL TUBARÃO¹

*Paulo Eduardo Chepuck Miazzo²
Sérgio Ricardo Martins dos Santos³
Kleber Almeida Ramos de Jesus⁴
Magno Perriraz da Silva²
Thomas Bastian⁵*

Resumo

O presente trabalho visa demonstrar as vantagens de uma medição do torque de laminação utilizando-se *strain gauges*. Com esta medição, pode-se verificar o torque real de laminação e sua verdadeira dinâmica. Os benefícios vão desde o fato de se conhecer os picos de torque, até a possibilidade de se estimar a vida útil residual de componentes do trem de acionamento. Geralmente, os torques de laminação são calculados a partir do consumo da corrente elétrica do acionador, porém, este cálculo não se mostra preciso devido aos amortecimentos que ocorrem na cadeia do acionamento de um laminador. O sistema Acida, da empresa Voith, foi instalado no laminador de desbaste da Arcelor Mittal Tubarão. O resultado foi excelente, visto que foi possível compreender e visualizar o real comportamento desta máquina.

Palavras-chave: Torque de laminação; Picos de torque; Otimização; Análise de torque

ROLLING TORQUE DETERMINATION USING STRAIN GAUGES IN ARCELOR MITTAL TUBARÃO HSM DRIVING SHAFTS

Abstract

This report aims to demonstrate the advantages about rolling torque measurement using strain gauges. With this kind of measurement, it's possible to verify the real rolling torque and its true dynamics. The benefits range from to know torque peaks, until the possibility to estimate the residual lifetime of the driving components. Generally, rolling torques are calculated from the electric current consumption of the driver, however, this calculation is not accurate due to damping occurring in the drive line of a rolling machine. The system Acida, Voith company, was installed in the Arcelor Mittal Tubarão rougher mill. The outcome was excellent, as it was possible to understand and to visualize the actual behavior of this machine.

Key words: Rolling torque; Torque peaks; Optimization; Torque analysis.

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

² *Engenheiro de Vendas e Aplicações - Voith Turbo*

³ *Especialista de Manutenção - Arcelor Mittal Tubarão*

⁴ *Supervisor de Vendas e Aplicações - Voith Turbo*

⁵ *Engenheiro de Serviços - Voith Turbo ACIDA*

1 INTRODUÇÃO

Dentro do universo da laminação, por diversas vezes, algumas variáveis são desconhecidas ou nebulosas. Uma delas é o real torque de laminação.

Uma das formas mais comuns de se encontrar este valor é através do cálculo realizado a partir da corrente elétrica consumida pelo acionador. Porém, este valor não retrata fielmente os torques envolvidos na região dos cilindros de trabalho. Estes são amortecidos pelo sistema de acionamento (eixos cardans, redutores, caixas de pinhão etc). Além disso, há uma diferença de tempo entre a ocorrência do torque e o registrado pela corrente elétrica do motor.

Analisando este cenário, surge a idéia de registrar, empiricamente, os valores do torque de laminação através de sensores piezoelétricos (*strain gauges*) em barras cilíndricas. Veja abaixo um exemplo da diferença entre uma medição feita a partir da corrente elétrica do motor (linha vermelha) e outra feita utilizando os *strain gauges* (linha azul):

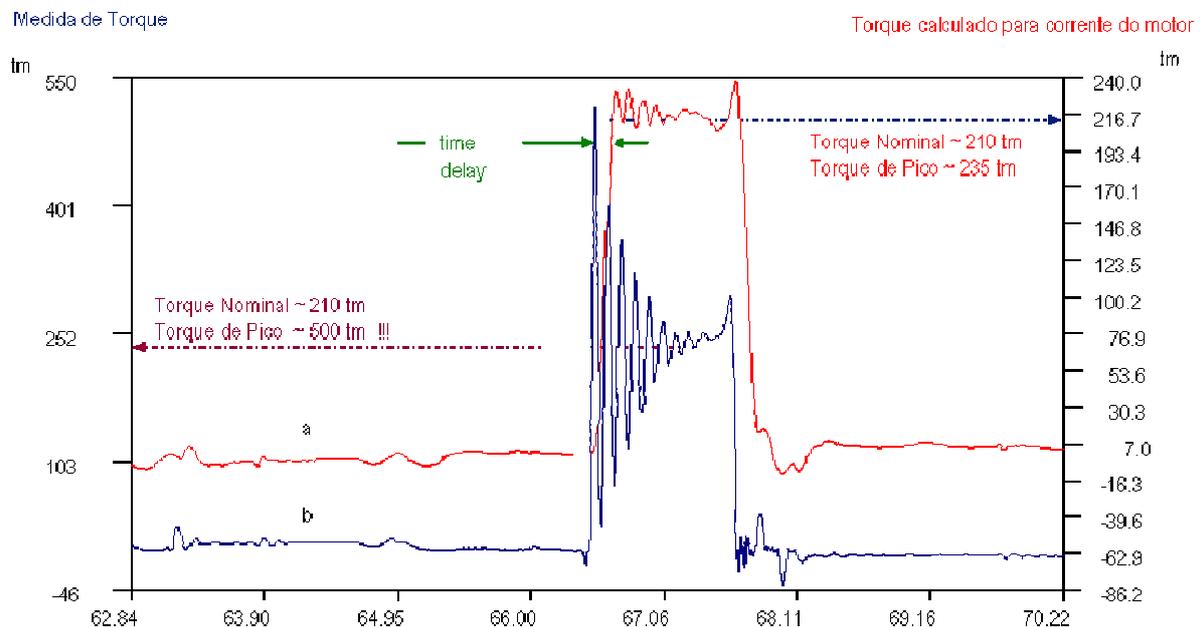


Figura 1 - Comparação entre torque medido e torque calculado pela corrente do motor elétrico.

Como pode ser observado, o valor nominal de torque é o mesmo para as duas formas de medição, porém, o comportamento real do torque e seus valores de picos são bem distintos.

Uma medição foi realizada no laminador de desbaste da empresa Arcelor Mittal Tubarão com o intuito de verificar justamente este comportamento para os torques nos eixos de transmissão desta máquina.

2 SISTEMA VOITH ACIDA

Para realizar esta difícil tarefa, a Arcelor Mittal Tubarão escolheu o sistema de monitoração de torque Voith Acida.

Este equipamento surgiu dentro da universidade de Aachen através de um trabalho do professor Dr. Jerry Mackel.

O sistema é simples e conta com princípios básicos de engenharia. Quatro *strain gauges* são conectados na forma de ponte de Wheatstone. Os *strain gauges*

são sensores que medem pequenas deformações superficiais através da variação do comprimento das resistências existentes neles. É sabido que torques em barras cilíndricas provocam modificações na superfície desta barra apenas em $\pm 45^\circ$ (dependendo do sentido do torque). Portanto, através da variação sofrida pelos *strain gauges* na direção informada, gera-se um diferencial de tensão e trabalha-se com este valor para chegar no valor do torque real.

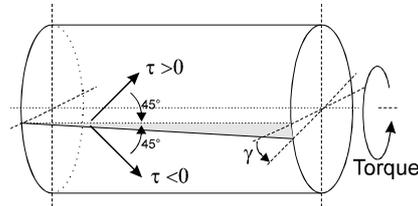


Figura 2 - Efeito do torque em barras cilíndricas.

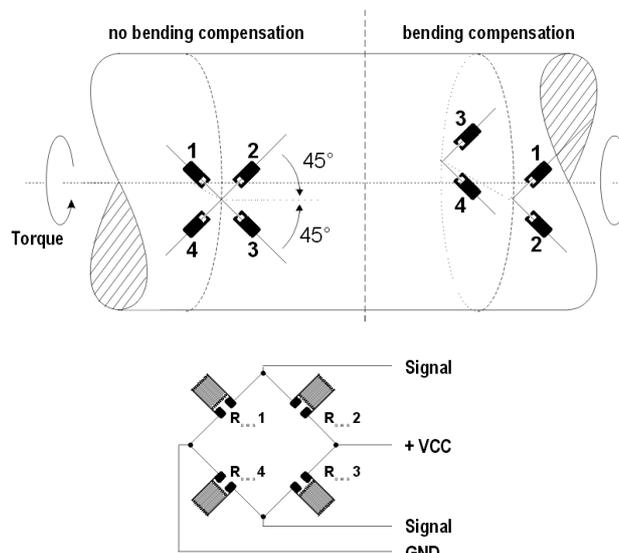


Figura 3 - A ponte de Wheatstone.

Este sinal coletado é enviado através de um sistema de antenas a uma unidade demoduladora que, por fim, envia-o (via cabo) a um sistema de aquisição de dados. Portanto, pode-se dividir este sistema em duas partes: rotativa e estática.

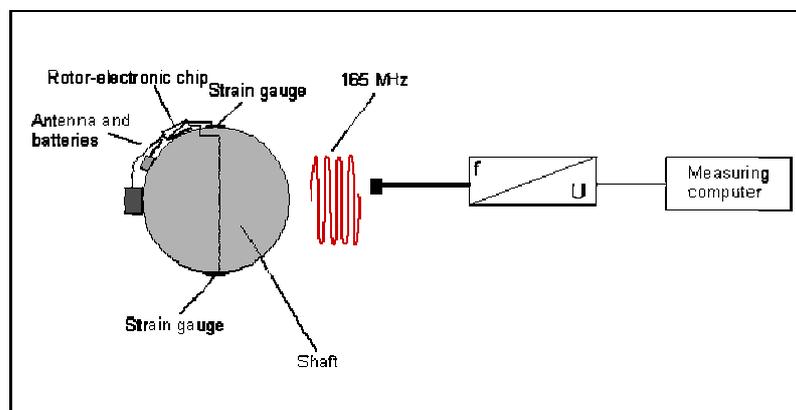


Figura 4 - Visão geral do sistema Acida.

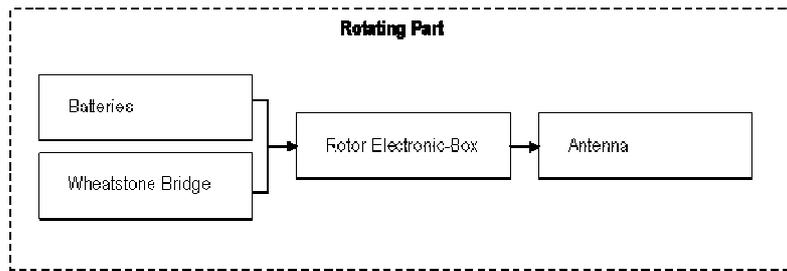


Figura 5 - Parte rotativa.

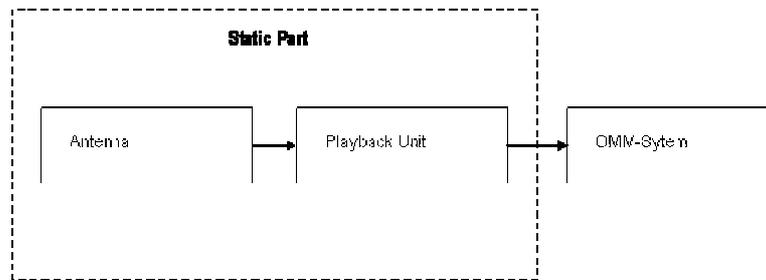


Figura 6 - Parte estática.

Além de ler e armazenar o torque em função do tempo, o software utilizado pela Voith Acida permite trabalhar com os dados no domínio da frequência, gerando um gráfico em que pode-se fazer um comparativo dos ciclos sofridos pelo eixo e a curva de fadiga dos componentes que fazem parte da cadeia de acionamento.

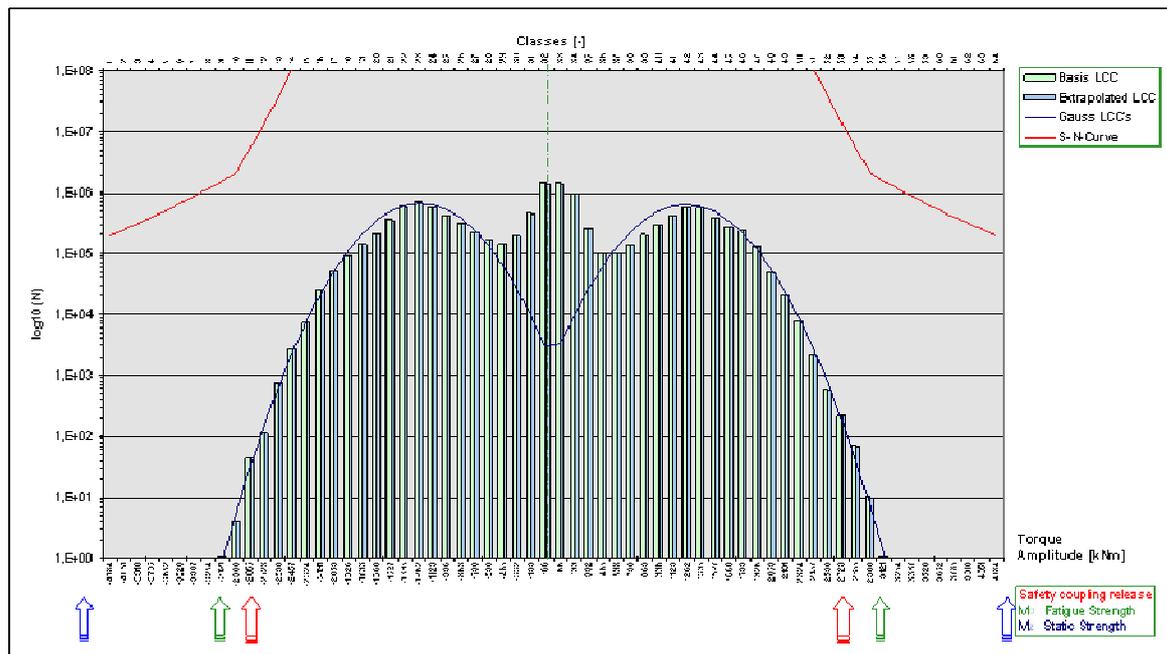


Figura 7 - Gráfico de ciclos de carga / Monitoramento de fadiga.

A partir dos torques máximos indicados pelo projetista dos eixos de transmissão e o sentido de rotação da laminação (reversível ou apenas um sentido), é feita uma divisão em 64 categorias destes níveis de torque. O software registra por quais níveis o torque “passou” e conta um ciclo para cada um destes níveis, veja o exemplo abaixo:

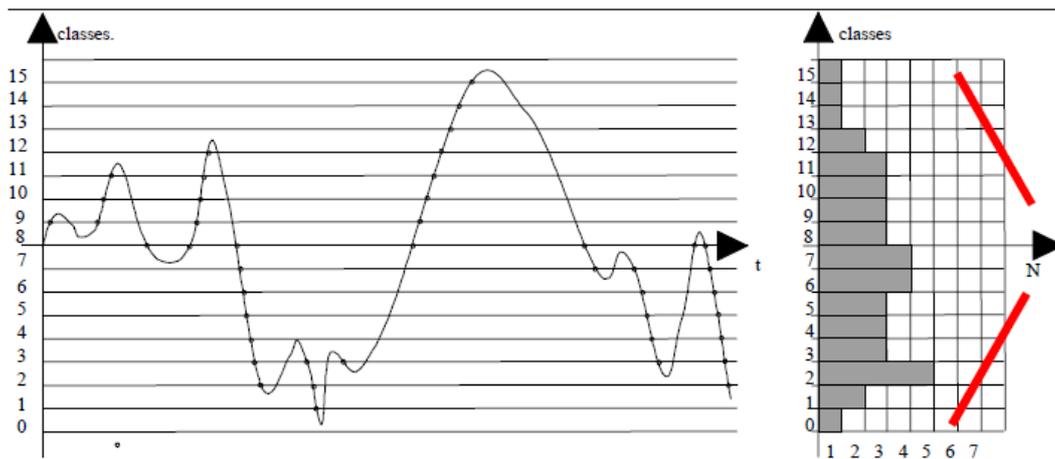


Figura 8 - Princípio do algoritmo para o gráfico de ciclos de carga.

A partir das curvas de fadiga dos componentes mecânicos envolvidos (linhas vermelhas na Figura 7) e de uma extrapolação do comportamento do torque de laminação, consegue-se estimar a vida residual destes elementos.

Outro grande diferencial de nosso sistema é a leitura FFT em tempo real do sinal de torque.

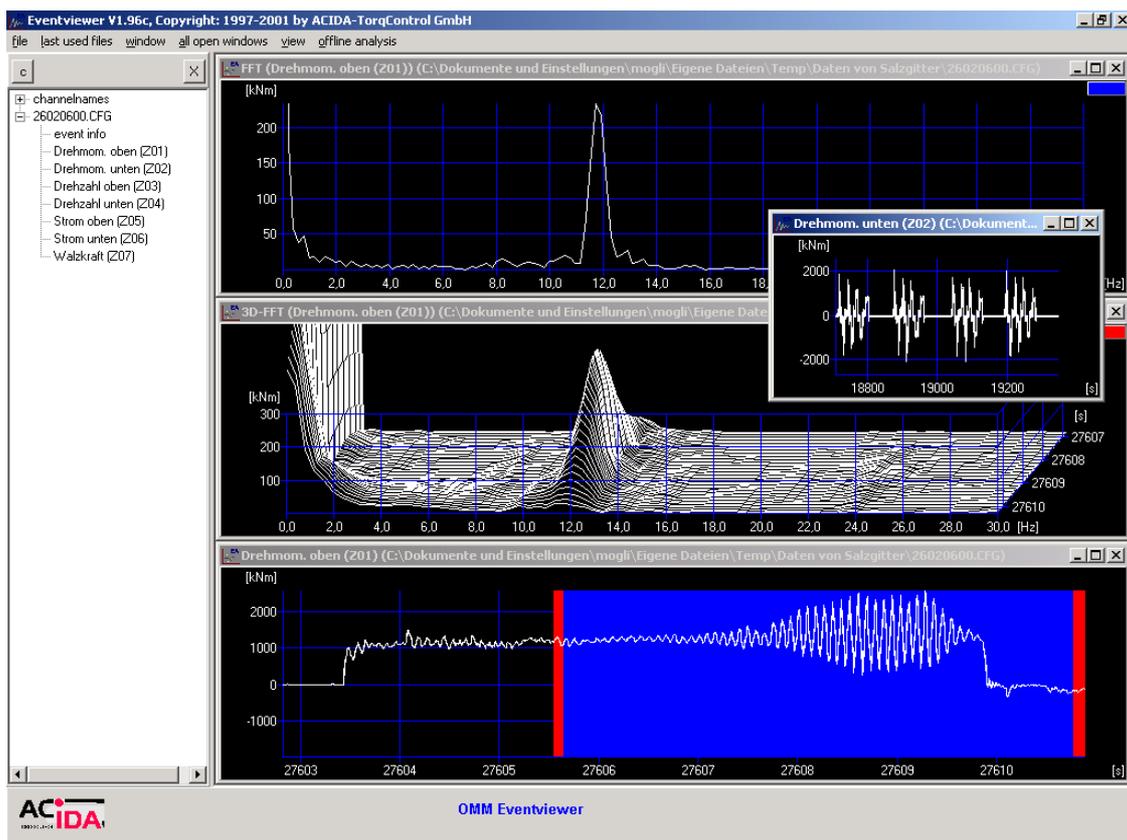


Figura 9 - Exemplo de uma análise FFT.

A partir de um estudo como este, pode-se chegar inclusive ao valor da frequência natural do eixo em análise e saber se o mesmo está entrando em ressonância.

Estas e outras conclusões são possíveis mediante a análise do comportamento do torque de laminação e de eventos especiais.

3 MEDIÇÃO NA ARCELOR MITTAL TUBARÃO

Na Arcelor Mittal Tubarão, a medição durou aproximadamente três semanas. Foram realizadas nos eixos de acionamento do laminador de desbaste do LTQ (laminador de tiras a quente), eixos preparados para suportar torques de até 7.310 kNm. Dentro do período de medição foi possível abranger uma grande variedade tanto de materiais quanto de situações envolvendo o laminador em questão.

3.1 Exemplos de Processos de Laminação

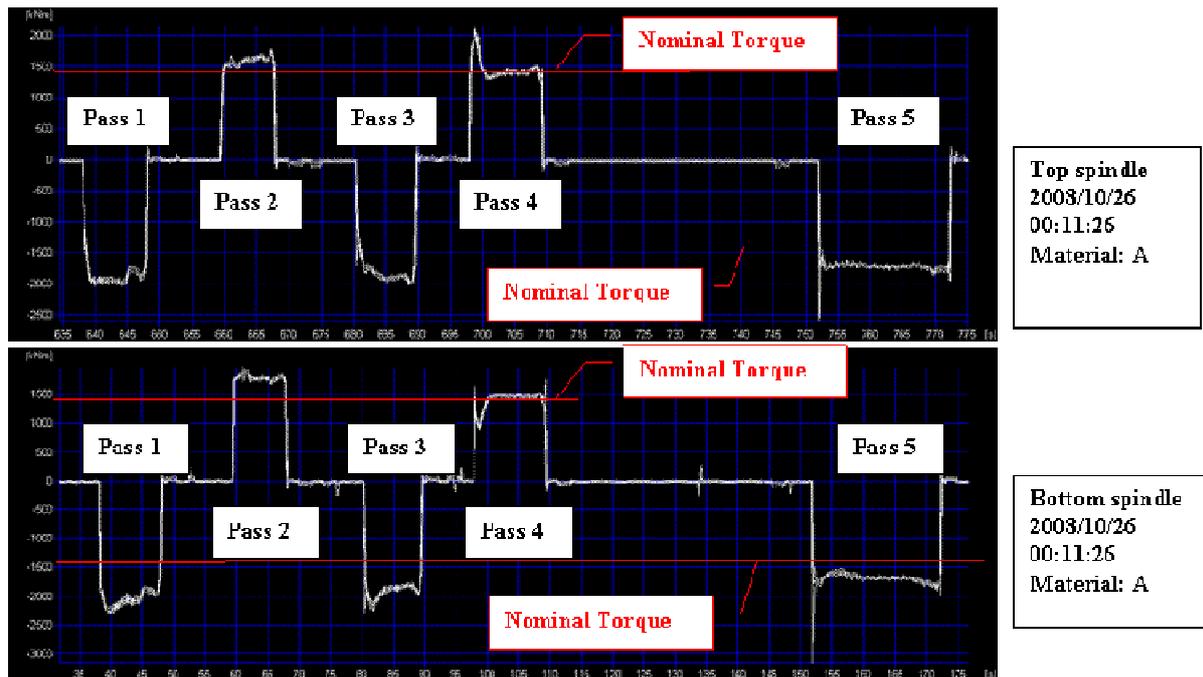


Figura 10 - Exemplo de sinal medido para o material A.

Tabela 1: Análise das variações de torque

Passo	Nível do torque médio [kNm]	Varição comparado ao torque nominal do eixo (1432 kNm) [kNm]	[%]
EIXO SUPERIOR			
1	-1908	+476	+33%
2	+1598	+166	+11,5%
3	-1820	+388	+27,1%
4	+1405	-27	-1,9%
5	-1716	+284	+19,8%
EIXO INFERIOR			
1	-2056	+624	+43,5%
2	+1791	+359	+12,5%
3	-1917	+485	+34%
4	+1411	-22	-1,5%
5	-1687	+255	+17,8%

Pode-se notar que para este material os níveis de torque estão acima do esperado, chegando-se a torques médios até 43,5% acima do torque nominal.

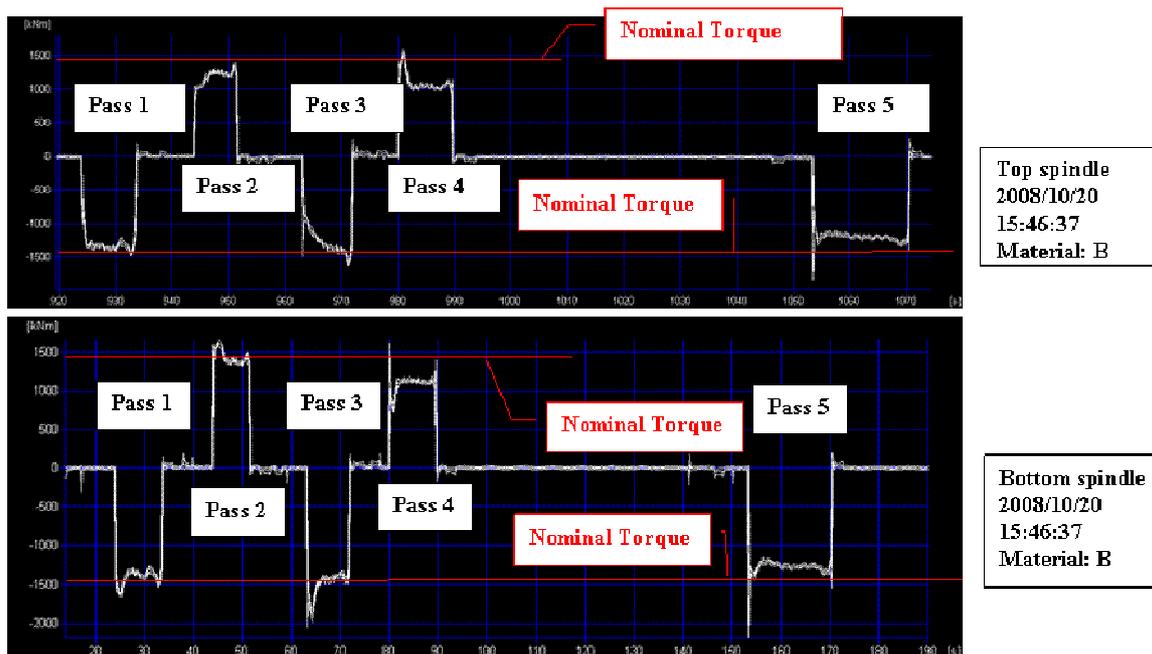


Figura 11 - Exemplo de sinal medido para o material B.

Tabela 2: Análise das variações de torque

Passo	Nível do torque médio [kNm]	Varição comparado ao torque nominal do eixo (1432 kNm) [kNm]	[%]
EIXO SUPERIOR			
1	-1318	-114	-8%
2	+1185	-247	-17,2%
3	-1282	-150	-10,5%
4	+1098	-334	-23,3%
5	-1207	-225	-15,7%
EIXO INFERIOR			
1	-1409	-23	-1,6%
2	+1437	+5	+0,3%
3	-1497	+65	+4,5%
4	+1084	-348	-24,4%
5	-1273	-159	-11,1%

Aparentemente, o material B exige menos no que diz respeito aos torques de laminação do que o material A. Vemos que, em quase todos os passes de laminação, há picos acima do torque nominal, mas dificilmente o torque médio do passe é superior ao torque nominal de projeto do eixo cardan.

3.2 Eventos Especiais

O primeiro evento trata-se de uma distribuição desigual do torque de laminação entre os eixos superior e inferior. As linhas verde e vermelha retratam os níveis de torque, enquanto a linha azul retrata a diferença entre os torques dos eixos superior e inferior.

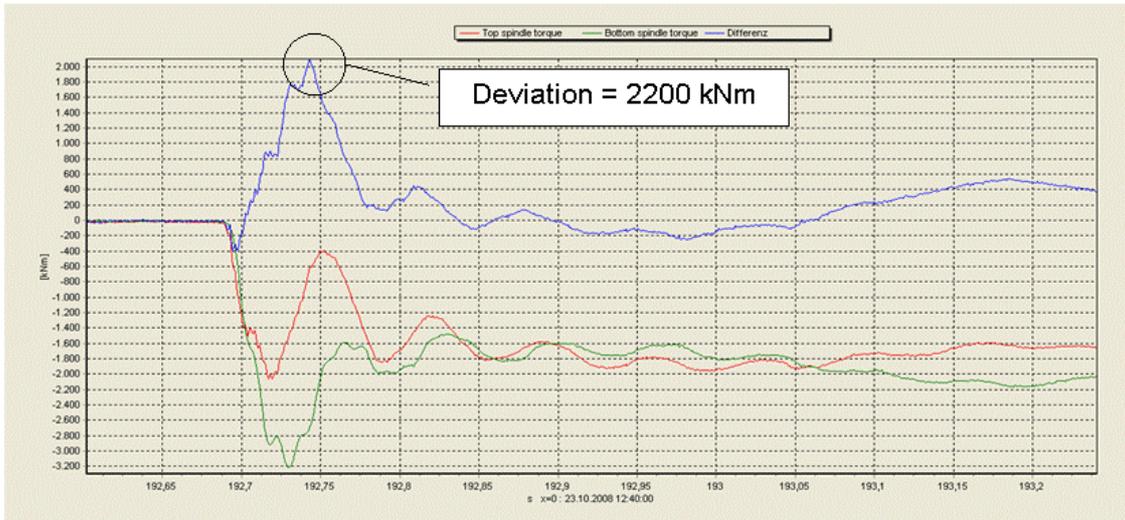


Figura 12 - Torque desigual de laminação.

Outro evento importante são os torques máximos envolvidos em cada eixo de laminação.

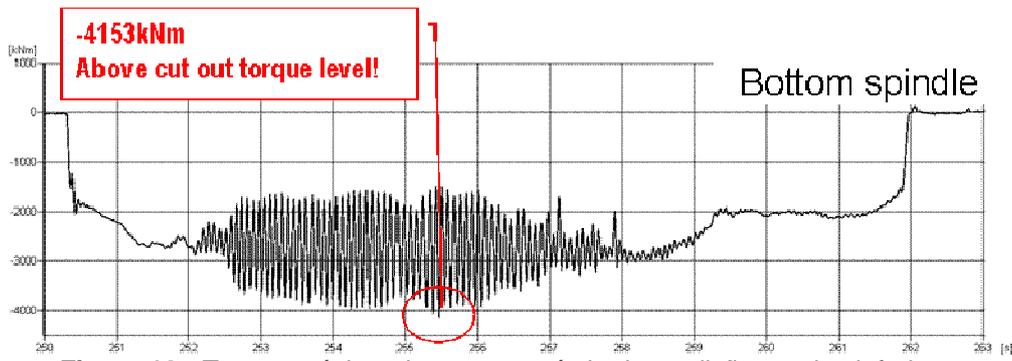


Figura 13 - Torque máximo durante o período de medição no eixo inferior.

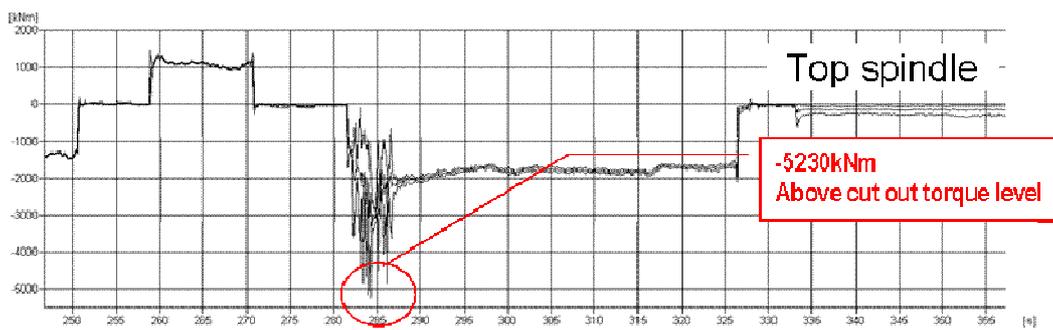


Figura 14 - Torque máximo durante o período de medição no eixo superior.

Também foi possível descobrir a freqüência natural dos eixos de acionamento a partir de um evento no qual foi observado uma vibração torsional sem que houvesse material sendo laminado, ou seja, vibração em vazio.

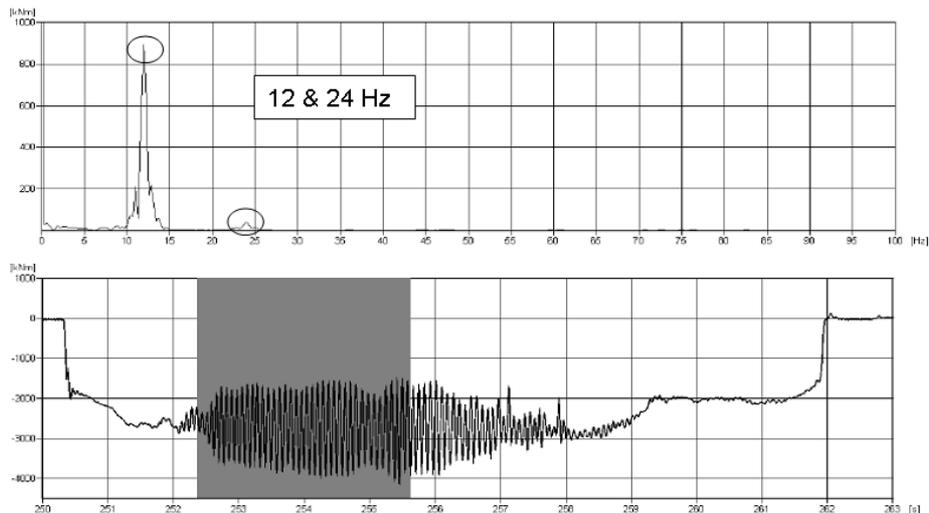


Figura 15 - Vibração torsional sem material sendo laminado e espectro FFT.

Além disso, um outro importante evento foi a comparação entre o torque medido pelo sistema Voith Acida e o torque calculado pelo consumo da corrente elétrica do motor.

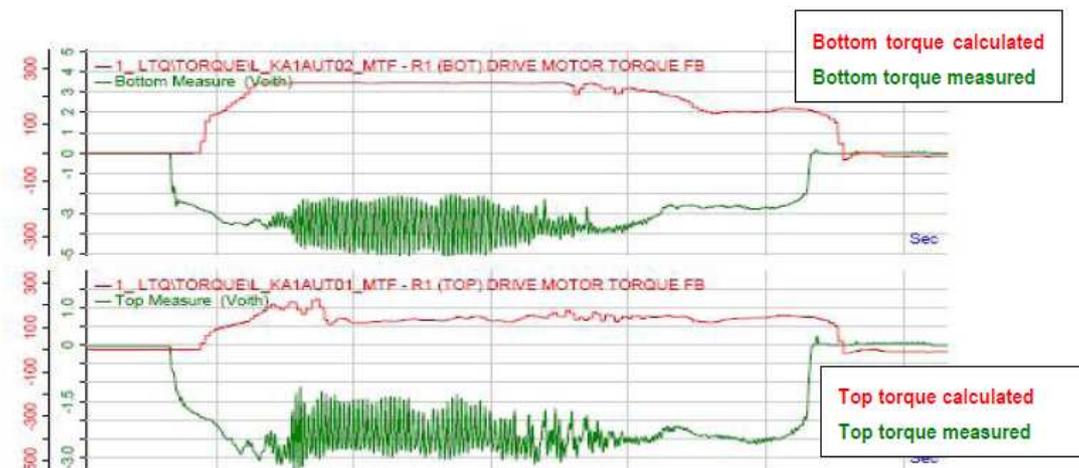


Figura 16 - Comparação entre o torque calculado e o torque medido.

Como pode-se perceber, enquanto o sistema Acida detectou uma alta vibração torsional, o torque calculado não identificou o ocorrido. Vale ressaltar que os picos de torque ocorrido durante o evento eram suficientes para que o motor fosse desarmado, porém, como o motor não detectou estes picos (via sistema IBA), o acionamento não foi desarmado.

Por último colocamos o gráfico *Torque load collective*. Como já dito anteriormente, classificou-se a faixa de torque de trabalho em 64 categorias e contamos cada vez que o determinado nível de torque era atingido. O gráfico não contempla a curva de fadiga dos eixos de transmissão, pois esta informação não era de posse da Arcelor Mittal Tubarão e, por isso, não foi disponibilizada para a equipe de engenheiros da Voith.

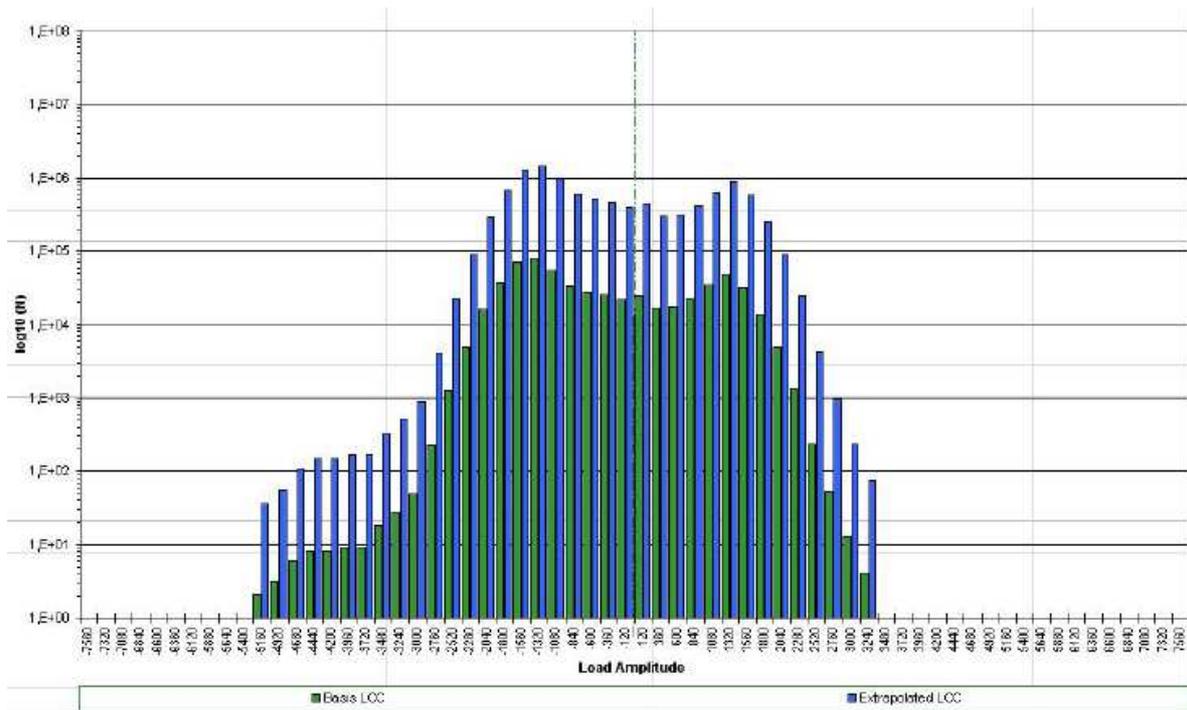


Figura 17 - Torque load collective para o eixo superior.

As barras verdes referem-se aos torques ocorridos durante o período de medição. Já as barras azuis foi uma extrapolação feita para um período de um ano.

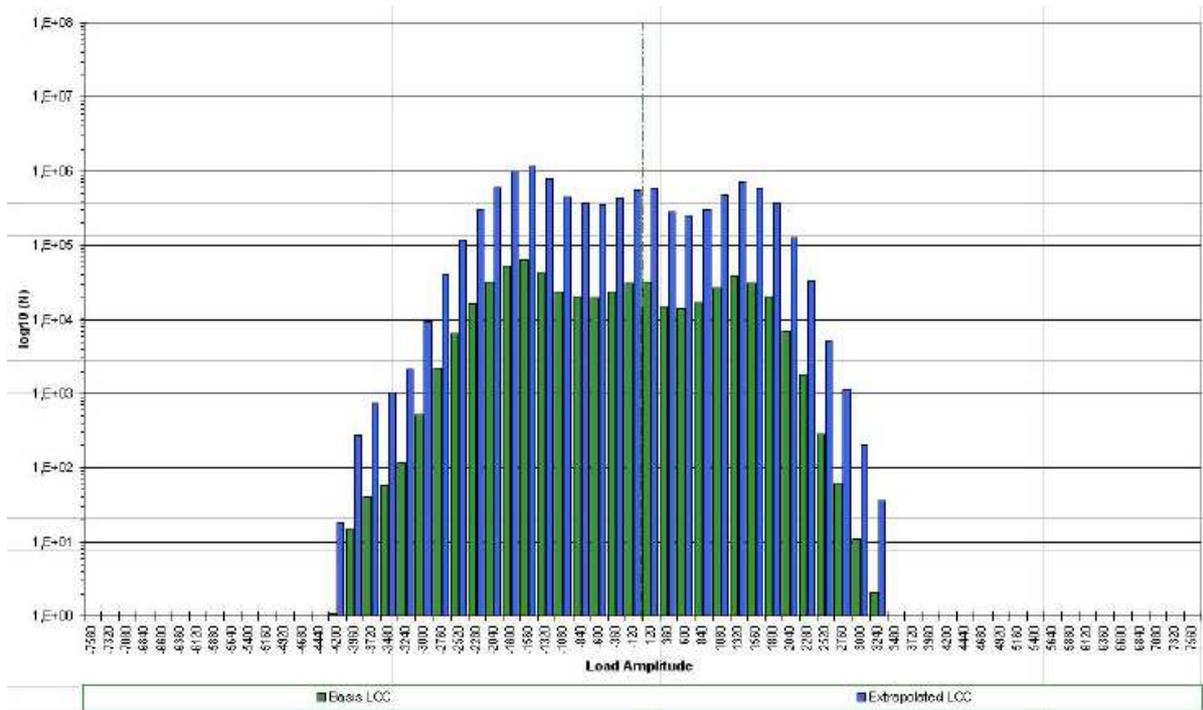


Figura 18 - Torque load collective para o eixo inferior.

4 CONCLUSÃO

O sistema Voith Acida é uma poderosa ferramenta para que a dinâmica do trem de acionamento de um laminador seja compreendido com maior riqueza de

detalhes. Além disso, pode ser utilizado para uma série de análises complementares, como observado acima.

As vantagens do sistema de medição de torque por *strain gauges* ficam claras e óbvias, principalmente quando comparadas às medições calculadas a partir do consumo da corrente do motor elétrico.

Os resultados obtidos pelo sistema, são de grande valia para a manutenção, a fim de analisar desgastes de elementos mecânicos e a real situação do trem de acionamento. Contudo, também são importantes para a engenharia de processos que podem avaliar se a capacidade laminada está dentro do projetado para a máquina ou se ainda há “espaço” para otimizar a produtividade.

Agradecimentos

Agradecemos à Arcelor Mittal Tubarão por ter colaborado com este trabalho, em especial aos srs. Sérgio Ricardo Martins dos Santos e Lincoln Possada de Rezende que estiveram envolvidos desde o início com os trabalhos ocorridos dentro da referida empresa.

REFERÊNCIAS

- 1 MACKEL, J. Maintenance and quality related condition monitoring in rolling mills. Proceedings of the AISE Annual Convention, Chicago, 2000.
- 2 MACKEL, J., FIEWEGER, M., ASCH, A. Maintenance and quality related monitoring of rolling mill main drives, SARUC, Vanderbijlpark, 2002.