SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
XVI SEGeT
AEDB
FACULDADES DOM BOSCO

ESTUDOS DE CASOS DE ANÁLISES DE VIBRAÇÃO EM UM LAMINADOR DE TIRAS A FRIO

Arlei Fonseca Barcelos
arlei@csn.com.br
CSN

Brendo Carvalho dos Santos
brendo.santos@csn.com.br
CSN

Hugo Shokychi Toshimitsu
hugo.toshimitsu@csn.com.br
CSN

Leandro Braga Portes
leandro.portes@csn.com.br
CSN

Victor Emmanuel Couto Melo
victor.melo@csn.com.br
CSN

Resumo:O sistema de vibração é uma ferramenta utilizada afim de diagnosticar possíveis falhas em processos industriais, que tenham como causa oscilações mecânicas que podem comprometer basicamente a produtividade de um processo e a qualidade de um produto. Este trabalho apresenta estudos de casos de análises de vibração dos sistemas mecânicos de um laminador de tiras a frio não acoplado, de 5 cadeiras e do tipo quádruo. Através do estudo dos gráficos de energia global e transformadas rápidas de Fourier (FFT-Fast Fourier Transform) pôde-se criar identidades oscilatórias da origem dos problemas específicos dos conjuntos mecânicos, assim como conhecer a influência de variáveis de processo na curva de vibração de uma cadeira de laminação, diferenciando a da frequência natural deste conjunto. Determinado os padrões de vibração, estes se tornam o início de uma atividade de manutenção preditiva para posteriormente eliminar as causas fundamentais do problema afim de evitar paradas de processo em emergência, e consequentemente, melhorando a performance operacional da máquina.

Palavras Chave: Análises de Vibração - Laminador tiras frio - Manutenção - -

1. INTRODUÇÃO

O processo de laminação a frio consiste no encruamento e redução da espessura de chapas metálicas para melhor atender as especificações do cliente, é necessário para obter êxito que se conheça todas as variáveis que influenciam no processo.

Dentre elas, o sistema de vibração, que no laminador em questão é composto por cinco sensores posicionados no topo de cada cadeira de laminação, estes sensores enviam os sinais para o sistema de aquisição IBA em tempo real que em casos de detecção de vibrações muito elevadas, pode desacelerar e até mesmo parar o processo para evitar maiores danos.

Para os estudos de caso foram coletados sinais destes sensores, e avaliados através do software de análise gráfica IBA Analyzer, no qual se consegue obter sinais no domínio do tempo, bem como realizar as transformadas rápidas de Fourier (FFT-Fast Fourier Transform), para melhor análise dos sinais no domínio da frequência.

Estes estudos foram realizados no Laminador de Tiras a Frio nº3 da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), não acoplado de cinco cadeiras e do tipo quádruo.

2. OBJETIVOS

O trabalho tem por objetivo:

- Criar identidades oscilatórias da origem dos problemas específicos dos conjuntos mecânicos
- Diagnosticar defeitos através das identidades oscilatórias e banco de dados de vibração
- Conhecer a influência de variáveis de processo na curva de vibração

3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os principais problemas identificados através da análise vibracional no laminador de tiras a frio são os calos tanto nos cilindros de trabalho como nos de encosto, calos são como cavidades para dentro da superfície do cilindro, que podem ser provocados por dificuldades no encaixe, falha no balance, falta de lubrificação no mancal, etc, também foram analisados casos de folgas no sistema mecânico, chatter e outros defeitos de cilindros.

Em caso de vibração severa é possível a detecção do problema por meio de inspeção visual no produto ou auditiva no equipamento, porém para que estes defeitos sejam observados em fase inicial e se consiga fazer uma manutenção preditiva, o acompanhamento da frequência pelo software é mais eficaz.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

A análise harmônica clássica, ou análise de Fourier, conforme Lathi (2006), propõe a mudança do sinal de seu domínio original para o domínio da frequência calculada pela transformada rápida de Fourier (FFT). Segundo T. Cochran et al. (1967) a FFT é uma ferramenta computacional que calcula rapidamente essas transformações e facilita a análise de sinais, como por exemplo, análise de espectros de potência e simulações de filtros.

Este método é realizado calculando de maneira eficiente a transformada discreta de Fourier (DFT) e sua inversa, de uma série de amostras de dados, Oppenheim e Willsky

(1997), a DFT lida com um sinal tempo discreto finito e um número de frequência finitos ou discretos.

4.2 MODOS DE VIBRAÇÃO – "CHATTER"

O fenômeno "chatter", é definido como a condição operacional do laminador em que as frequências de excitação coincidem com frequências naturais e o laminador entra em ressonância, provocando nível de vibração muito elevado e alto ruído, podendo ocasionar danos ao sistema, este problema não é usual, e quando acontece a velocidade de laminação é automaticamente reduzida.

De acordo com Gomes UR et al. (2008) o chatter é classificado em 3 faixas:

- Hz-20 Hz (chatter torcional)
- 128 Hz-256 Hz (terceira oitava)
- 500 Hz-700 Hz (quinta oitava)

5. METODOLOGIA

O estudo de caso de análise de vibração começa a partir de uma coleta de dados que consiste na captação dos sinais dos sensores recebidos pelo sistema de aquisição IBA, a todo momento durante a produção, tais dados são avaliados com o uso dos seguintes métodos:

a) **Armazenamento de dados:** Os dados dos acelerômetros são armazenados em bancos de dados de 2 anos com informações históricas.

b) **Análise de dados no domínio do tempo:** Os dados se encontram inicialmente no domínio do tempo, que são representados por um gráfico de mg (gravidade) por segundos. Através desse gráfico podemos observar problemas de vibração com a variação da amplitude da gravidade.

c) **Análise das energias globais do sistema:** São representadas por gráficos globais diários de frequência de Terceira Oitava e Quinta Oitava em todas as cadeiras.

d) **Análise de dados no domínio da frequência:** Para converter os dados do domínio do tempo para a frequência é utilizada uma função do software para calcular as transformadas rápidas de Fourier (FFT).

As 3 ferramentas de análise são eficazes, porém em determinados casos consegue-se obter êxito utilizando apenas uma ou duas delas.

6. ESTUDOS DE CASOS

6.1 CASO 1: CALO NO CILINDRO DE ENCOSTO

O laminador foi parado para troca de cilindro de encosto na 4ª cadeira, após a detecção de calo, a figura 1 mostra os itens laminados antes e após a troca.

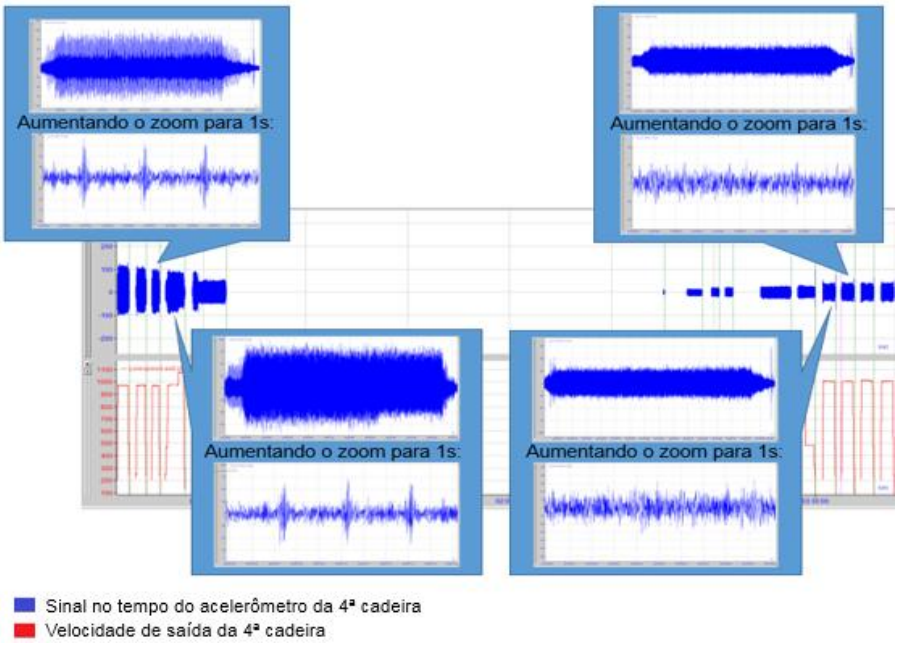

Figura 1. Sinal do acelerômetro no domínio do tempo na 4ª cadeira.

O gráfico da energia global do laminador na 4ª cadeira para os mesmos itens da figura 1, é mostrado na figura 2, pode ser observado baixa variação na frequência de Terceira Oitava, e uma frequência mais alta de Quinta Oitava antes da troca.

Figura 2. Gráfico de energia global na 4ª cadeira.

A figura 3 mostra que ocorrem nas bobinas que passaram no cilindro com calo um impacto no gráfico:

O impacto observado na forma de onda:

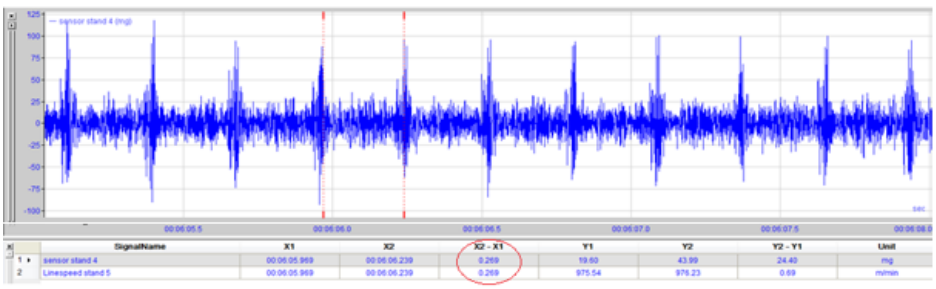

Figura 3. Impacto na forma de onda devido a calo no cilindro de encosto.

Sabendo que o diâmetro do cilindro de encosto é igual a 1,393 m e a velocidade da 4ª cadeira igual a 976mpm, temos:

$$TempoVoltaTransmisão = \frac{60 * 1,393 * \pi}{976} = 0,269$$

O que corresponde ao tempo que ocorre cada impacto, mostrado no gráfico da figura 3, confirmando o calo no cilindro de encosto.

O impacto observado no espectro de onda:

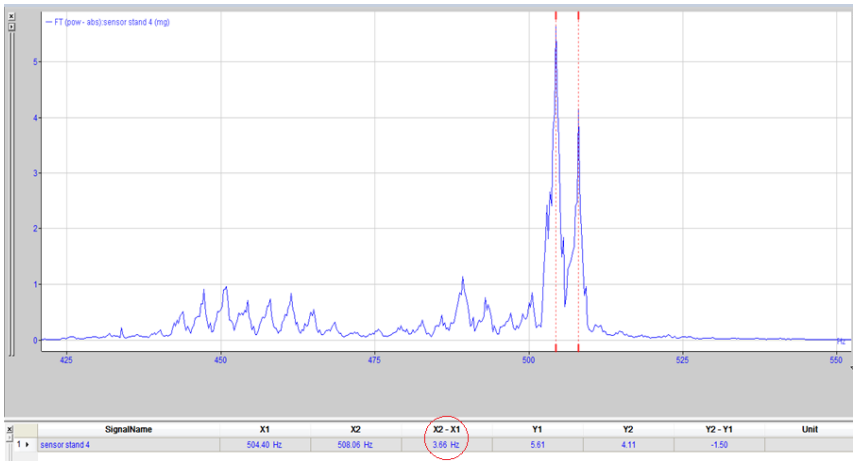

Figura 4. Impacto no espectro de onda.

Sabendo que o tempo de uma volta é de 0,269s, a frequência será de:

$$Frequência = \frac{1}{0,269} = 3,717Hz$$

Um valor aproximado da frequência em que ocorre cada espectro de onda proveniente do calo.

Na figura 5 foram alinhadas três bobinas antes da troca com o calo, e três bobinas depois da troca sem o calo, com velocidades próximas a 1000 m/min, de forma atemporal e sequenciais, é possível ver a influência do calo na vibração da 4ª cadeira de forma intermitente.

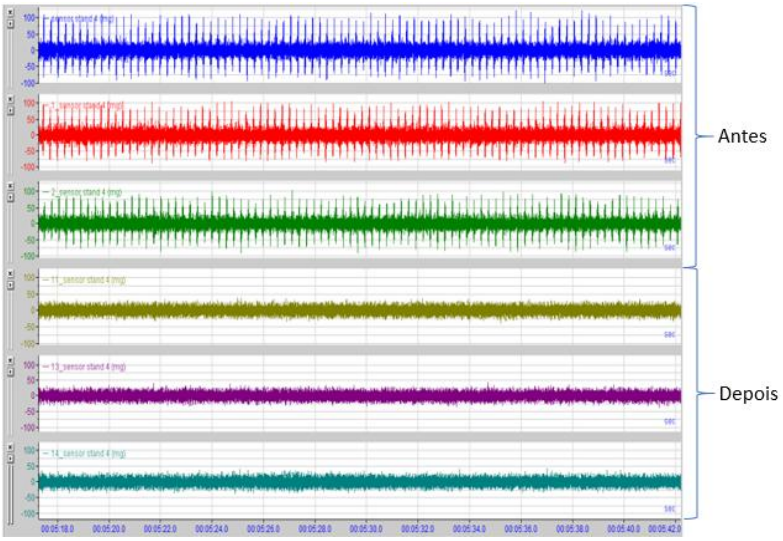

Figura 5. Comparação dos sinais do acelerômetro antes e depois da troca do cilindro de encosto.

Realizando a sua FFT, são obtidos os mesmos gráficos no domínio da frequência, a figura 6 mostra os espectros de onda do sensor de vibração do laminador na 4ª cadeira.

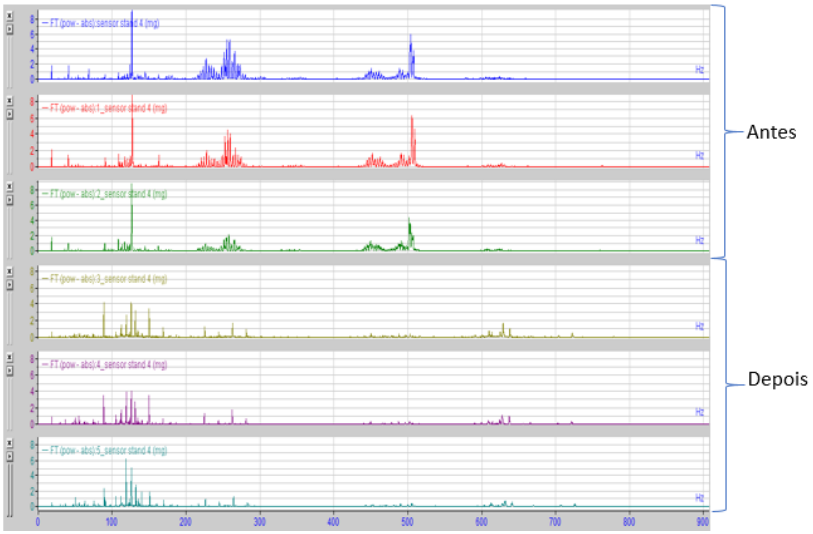

Figura 6. Comparação dos espectros de onda antes e depois da troca do cilindro de encosto.

As frequências naturais do laminador estão na faixa de 100 a 200 Hz, as bobinas que passaram no cilindro com problema apresentam espectros de onda nesta faixa e na faixa de 200 a 300 Hz com amplitudes maiores que após a troca, e também possui espectros de onda próximos a 500 Hz, referentes ao calo no cilindro de encosto.

Foi realizado um filtro passa baixa de 230 Hz, limite este onde começa os espectros de onda nas bobinas com calo, para obter o sinal no domínio do tempo e da frequência sem o calo, representado pelo sinal verde, o filtro é mostrado na figura 7.

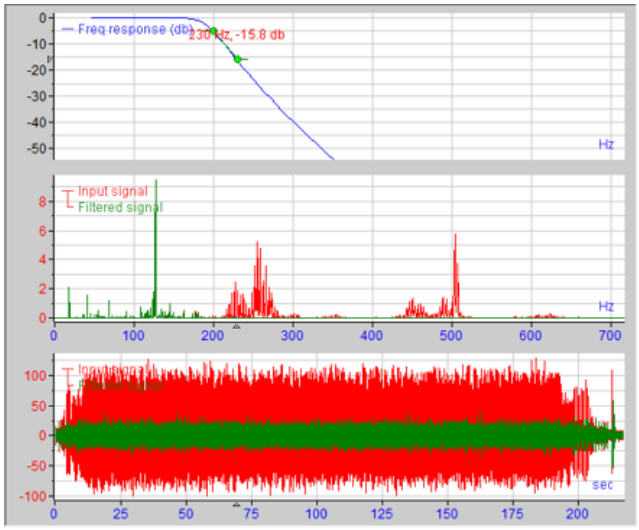

Figura 7. Filtro passa baixa.

A figura mostra que grande parte da vibração ocorrida nesta bobina foi devido ao calo no cilindro de encosto.

6.2 CASO 2: DEFEITO NO CILINDRO DE ENCOSTO

O laminador foi para troca de cilindro de encosto na 1ª cadeira, devido a defeitos encontrados no mesmo, a figura 8 mostra o cilindro após a retirada.

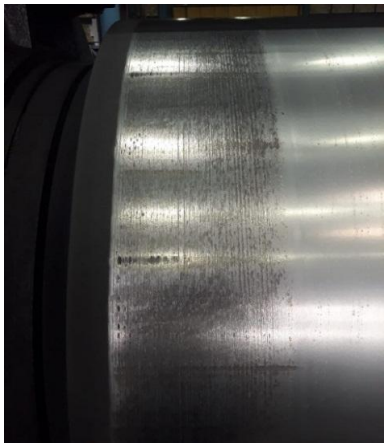

Figura 8. Defeito no cilindro de encosto.

O gráfico da figura 9 mostra os sinais no tempo do acelerômetro da 1ª cadeira e velocidade de saída da 1ª cadeira, nas bobinas antes e após a troca deste cilindro, percebe-se vibrações de frequências com amplitudes muito altas, próximas a 250 mg, nos materiais laminados com o cilindro com problema.

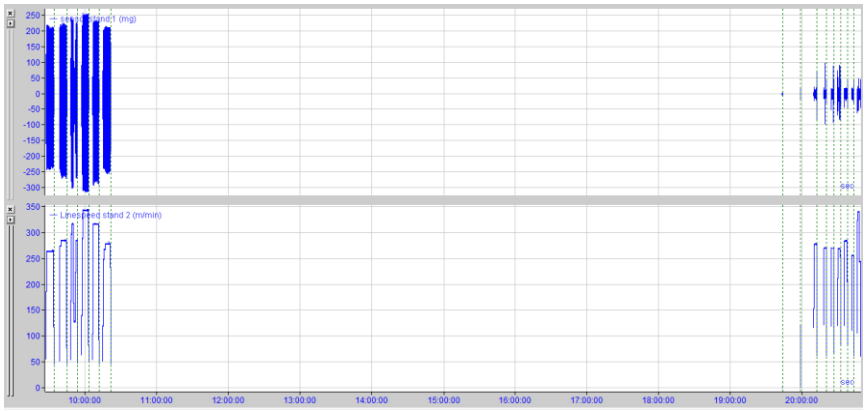

Figura 9. Sinal do acelerômetro no domínio do tempo na 1ª cadeira.

Abaixo é apresentado o gráfico amplificado de uma das bobinas com vibração alta, os impactos na forma de onda são desordenados e referentes as cavidades encontradas no cilindro.

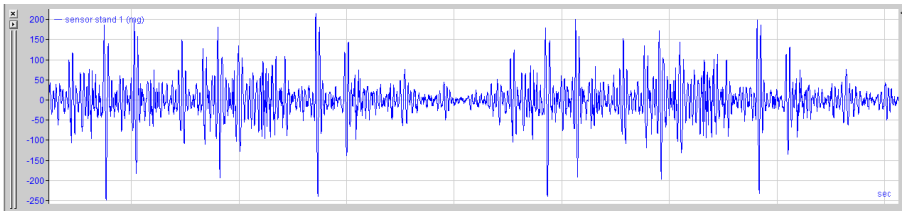

Figura 10. Impacto na forma de onda devido ao defeito no cilindro de encosto.

Comparando os três itens antes e três depois da troca, colocando na mesma escala e com velocidades próximas, fica evidente o defeito no cilindro, devido à alta vibração antes da troca.

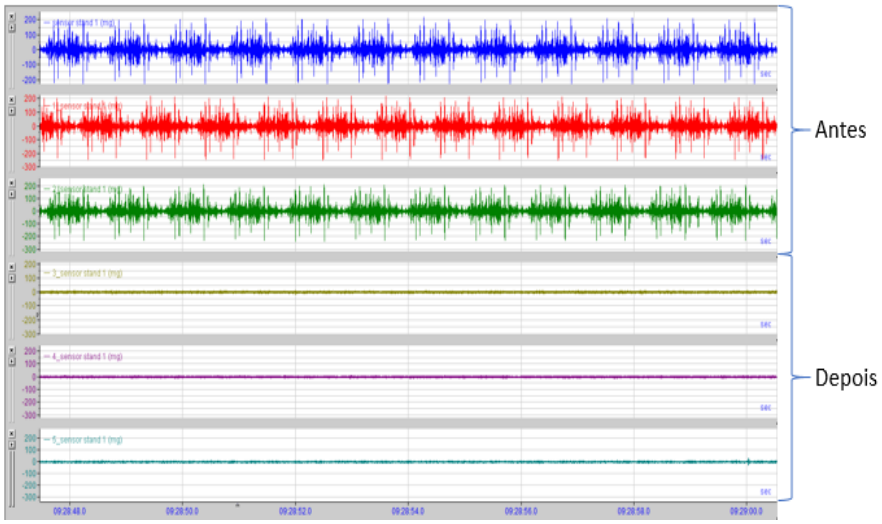

Figura 11. Comparação no domínio do tempo entre os itens antes e depois da troca de cilindro.

Comparando os mesmos itens no domínio da frequência, mostra amplitudes elevadas e frequências entre 50 a 150 Hz antes da troca, enquanto depois da troca a vibração possui amplitudes muito baixas:

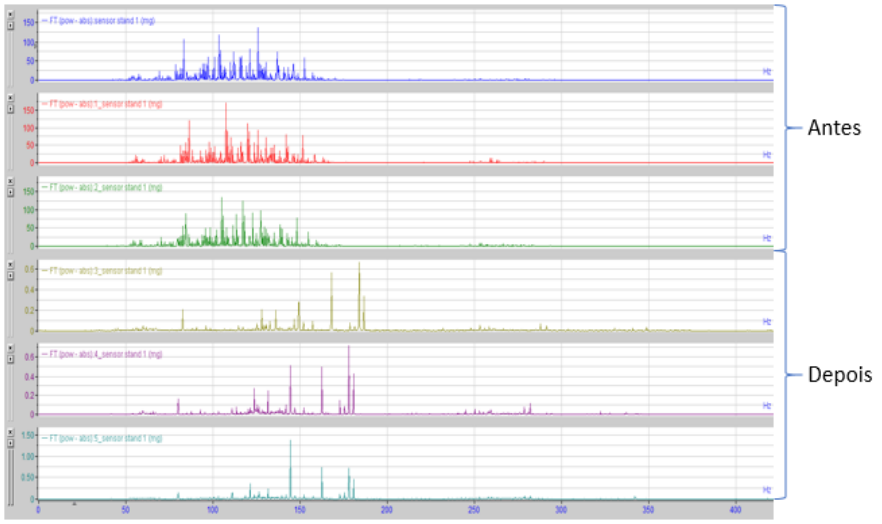

Figura 12. Comparação no domínio da frequência entre os itens antes e depois da troca de cilindro.

6.3 CASO 3: CHAVETA DA TRANSMISSÃO COM FOLGA

O laminador foi parado devido ao operador observar um som de batida na 1ª cadeira do laminador.

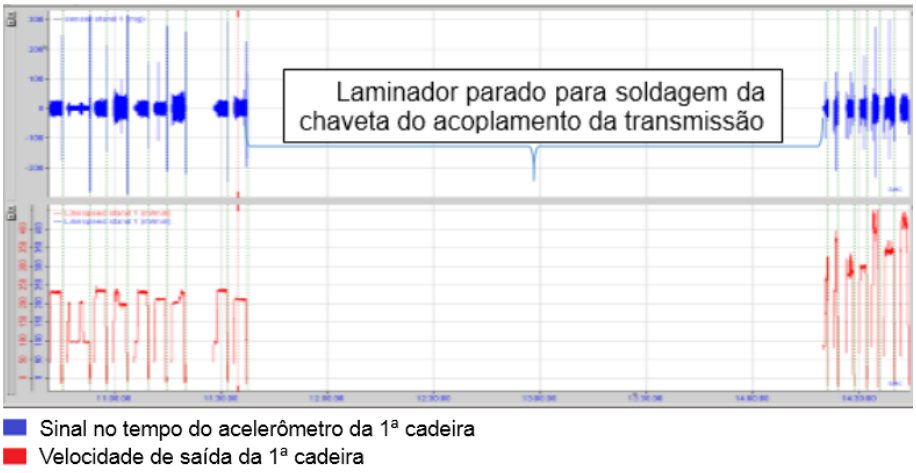

Figura 13. Sinal do acelerômetro no domínio do tempo na 1ª cadeira antes e após a soldagem da chaveta.

Pelo relato da inspeção mecânica tiveram algumas bobinas que o ruído se apresentava e algumas não, antes da ação de soldagem da chaveta, isto pode ser observado na figura 14:

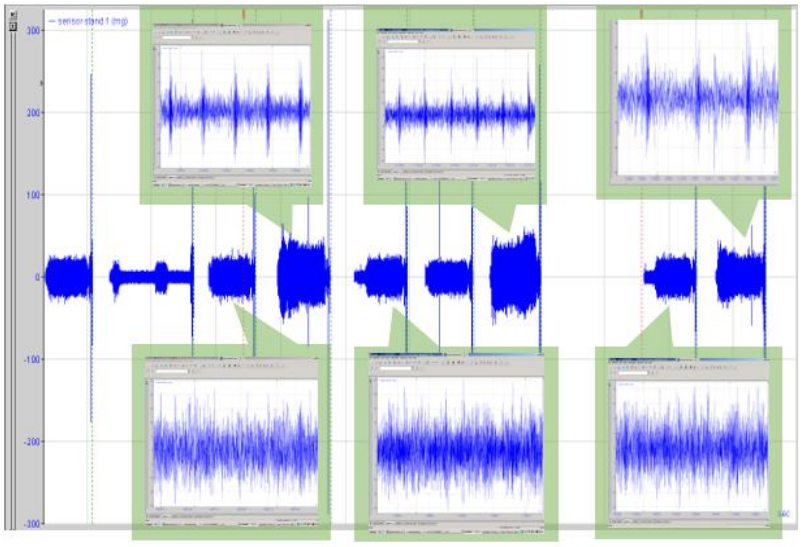

Figura 14. Forma de onda do sinal do acelerômetro amplificada.

A figura 15 mostra que ocorreram nas bobinas que possuíram um ruído ouvido pelo operador um impacto no gráfico

O impacto observado na forma de onda:

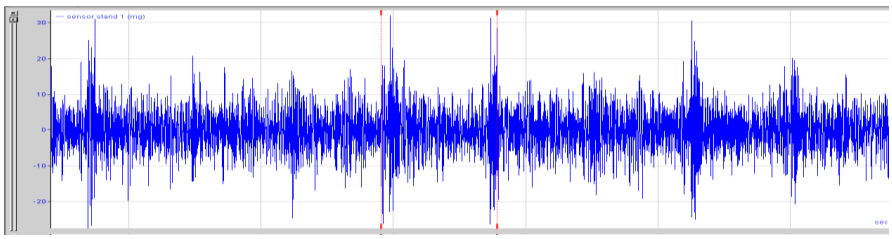

Figura 15. Impacto na forma de onda.

Sabendo que o diâmetro do cilindro de trabalho é igual a 0,530m e a velocidade da 1ª cadeira igual a 213mpm, obtém-se o tempo do impacto:

$$TempoVoltaTransmisão = \frac{60 * 0,530 * \pi}{213} = 0,469s$$

Na figura 16 onde as bobinas estão alinhadas de forma atemporal e sequenciais, mostra a influência da chaveta na vibração da 1ª cadeira de forma intermitente. No depoimento da inspeção mecânica o ruído audível da chaveta apresentava esta característica.

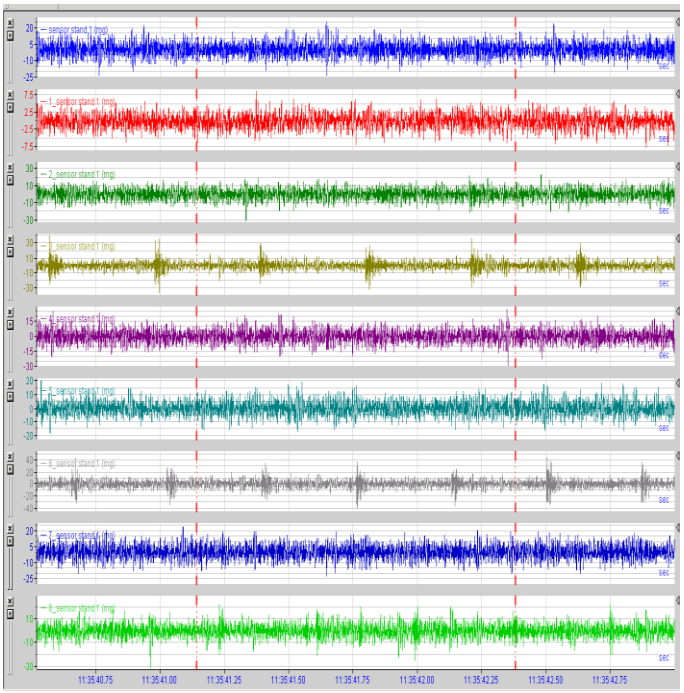

Figura 16. Influência da folga da chaveta na transmissão.

Após a ação da soldagem da chaveta da transmissão não ocorreram mais estes impactos no gráfico e o problema de vibração foi normalizado.

6.4 CASO 4: CHATTER

A figura 17 mostra os sinais no tempo dos acelerômetros das 3 últimas cadeiras, onde houve a ocorrência de chatter:

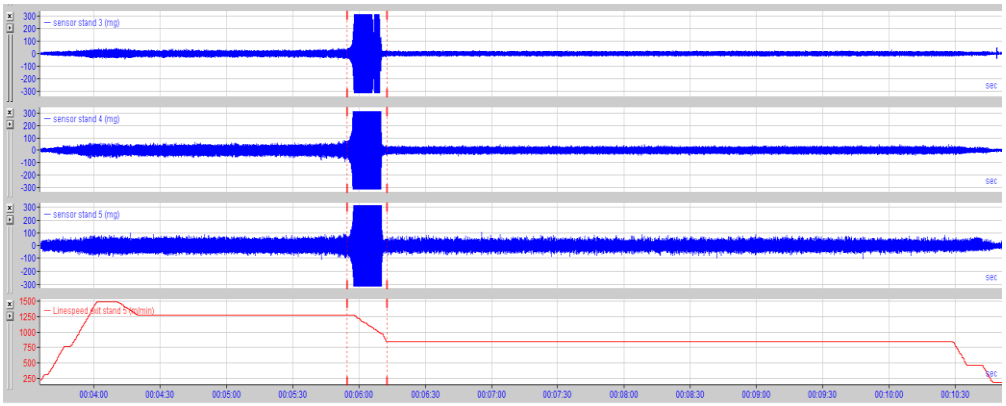

Figura 17. Chatter.

A imagem mostra uma vibração muito elevada na área limitada pelos marcadores, os acelerômetros saturaram, em 312,5 mg, e a velocidade de laminação, representada em vermelho, foi imediatamente reduzida, solucionando o problema e retornando à vibração aos patamares anteriores.

Na figura 18 observa-se o chatter amplificado:

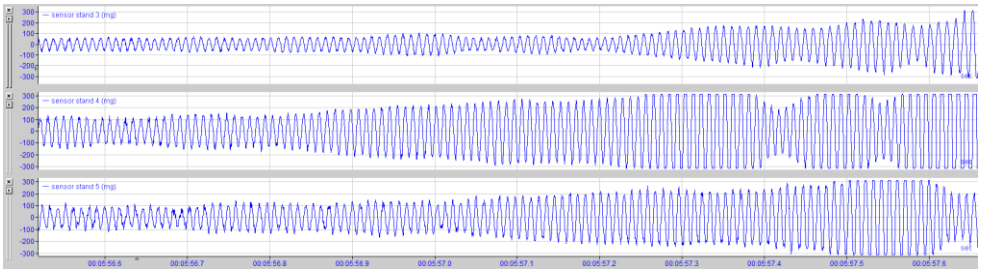

Figura 18. Chatter amplificado.

A frequência foi aumentando gradualmente até o ponto em que o laminador entrou em ressonância.

Realizando a FFT, temos:

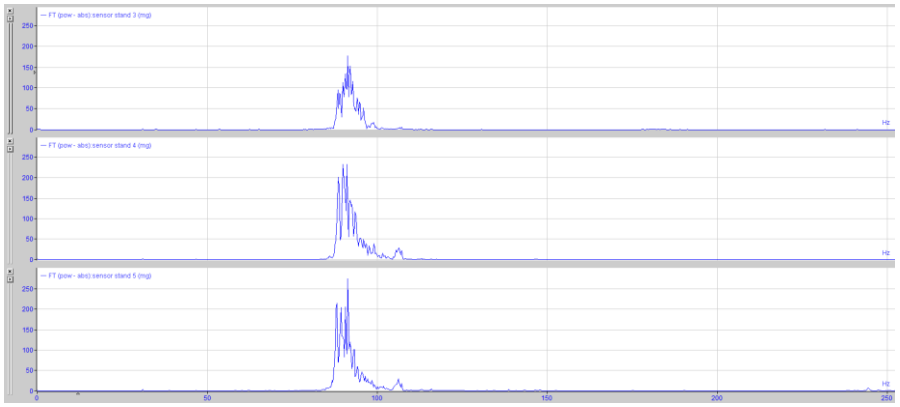

Figura 19. Chatter no domínio da frequência.

Observa-se espectros de onda muito elevados próximos a 100 Hz.

7. CONCLUSÃO

Com base nos estudos de caso avaliados no LTF#3 podemos ver que a análise vibracional é um método funcional para criar padrões oscilatórios dos principais problemas dos conjuntos mecânicos do laminador, permitindo assim realizar um diagnóstico rápido do problema, para a prevenção e correção de defeitos sem que cause maiores danos ao equipamento. A metodologia destes estudos de casos pode ser utilizada para diversos outros problemas em que sua causa fundamental possa ser detectada através do sistema de vibração.

8. REFERÊNCIAS

GOMES UR, PAULINO WS, NETO PCA, AQUINO RP, GOMES GL. VIBRAÇÃO E ESTATÍSTICA PARA GARANTIR QUALIDADE DAS CHAPAS PARA LATAS DOS LTF 1 E 2 - CSN. Congresso Anual da ABM, 63., 2008.

LATHI, B. P. Sinais e Sistemas Lineares. 2ª Ed., Porto Alegre, Editora Bookman, 2006.

OPPENHEIM, A. V.; WILLSKY, A. S. Signals and systems. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. 941p.

T. Cochran, William & W. Cooley, James & L. Favin, David & D. Helms, Howard & A. Kaenel, Reg & W. Lang, William & Maling Jr, G.C. & E. Nelson, David & M. Rader, Charles & D. Welch, Peter. (1967). What is the fast Fourier transform?. Proceedings of the IEEE. 15. 1664 - 1674. 10.1109/PROC.1967.5957.