

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**RAFAEL ALMEIDA MARÇAL
RONALDO LISBOA DOS SANTOS**

**MEDIÇÃO, ANÁLISE E CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM MÁQUINAS
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE GRANDE
PORTE DO SETOR MADEIREIRO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA, PR.

2013

RAFAEL ALMEIDA MARÇAL
RONALDO LISBOA DOS SANTOS

**MEDIÇÃO, ANÁLISE E CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM MÁQUINAS
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE GRANDE
PORTE DO SETOR MADEIREIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do DAELE Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Trojan.

PONTA GROSSA, PR.

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

MEDIÇÃO, ANÁLISE E CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE GRANDE PORTE DO SETOR MADEIREIRO

por

**RAFAEL ALMEIDA MARÇAL
RONALDO LISBOA DOS SANTOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 24 de outubro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Flavio Trojan, Dr.
Prof. Orientador

Prof. Max Mauro Dias Santos, Dr.
Membro titular

Prof. Edison Luiz Salgado Silva, Msc.
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Grato a Deus pelo dom da vida, pelo seu infinito amor, sem Ele nada sou, me auxiliou tornar possível mais uma conquista em minha vida. Agradeço a minha mãe, meu maior exemplo. Obrigado por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre andando pelo caminho correto, por todo seu esforço e dedicação.

Ao professor Flávio Trojan, com muita paciência e atenção, dedicou tempo para nos orientar em cada passo deste trabalho. A todos meus amigos porque mesmo quando distantes, estavam presentes em minha vida.

Obrigado a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para o Rafael que sou hoje.

“Que todo o meu ser louve ao Senhor, e que eu não esqueça nenhuma das suas bênçãos!” Salmos 103:2.

(Rafael Marçal)

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada. Agradeço também a minha esposa Silvana de Luna, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades.

Agradeço meus familiares que sempre acreditaram muito no meu trabalho e me ajudaram no que foi preciso.

A todos os meus professores que, fizeram com que eu continuasse e chegasse até onde cheguei. Agradeço a todos os meus amigos e colegas de trabalho que de alguma maneira ajudaram para esta realização.

(Ronaldo Lisboa)

RESUMO

MARÇAL, Rafael A., SANTOS, Ronaldo L.. Medição, **Análise e Controle de Vibração em máquinas industriais**: Estudo de caso em uma empresa de grande porte do setor madeireiro. 2013. 64 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

A terceirização tem sido uma tendência para algumas indústrias e pode auxiliar também na gestão e aplicação de manutenção especializada. Algumas dessas empresas que decidem investir em manutenção preditiva, o fazem de forma a contratar empresas especializadas no desenvolvimento das técnicas de manutenção preditiva, preocupando-se apenas com a gestão. As vibrações que não são devidamente tratadas podem aumentar os níveis de desgaste, como exemplo, limitar a vida útil de um rolamento de motor, além de avariar qualquer equipamento fabril. O presente trabalho procura abordar os problemas relacionados às vibrações em equipamentos industriais, através do estudo e da aplicação de técnicas de análise preditiva, utilizando os modernos equipamentos e *softwares* de monitoramento das variáveis físicas envolvidas neste escopo. O projeto visa exemplificar os métodos usados por uma empresa de grande porte do setor madeireiro, para serem usados como modelo para empresas que apresentam deficiências em aplicar esses métodos. Em princípio acreditava-se que os métodos usados pela empresa em foco no estudo de caso, poderiam ser utilizados por toda e qualquer empresa, independente do seu tamanho, mas concluiu-se que a aplicação em empresas de pequeno porte deve ser realizada com adequações, devido ao alto custo de investimento inicial.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva. Análise de vibração. Investimento em manutenção.

ABSTRACT

MARÇAL, Rafael A., SANTOS, Ronaldo L.. **Measurement, Analysis and Control of Vibration in industrial machines:** A case study in a large company sector timber.2013. 64 sheets. Conclusion Work Course Technology in Industrial Automation – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

Outsourcing has been a tendency for some industries and may also assist in the management and application of specialized maintenance. Some of those companies that decide to invest in predictive maintenance do so to hire specialized companies in the development of predictive maintenance techniques, concerned only with the management. The vibrations that are not properly addressed can increase levels of wear, for example, limiting the useful life of an engine bearing, as well as any manufacturing equipment malfunction . This paper seeks to address the problems related to vibrations in industrial equipment, through the study and application of predictive analytics techniques, using modern equipment and software monitoring of the physical variables involved in this scope. The project aims to illustrate the methods used by a large company in the timber sector, to be used as a model for companies that have deficiencies in applying these methods. At first it was believed that the methods used by the company in focus in the case study could be used by any company, regardless of its size , but it was concluded that the application for small businesses should be performed with adjustments, due to the high initial investment cost..

Keywords: Predictive Maintenance. Vibration analysis. Maintenance investment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Amplitude X Período	36
Figura 2 - Resultado da onda	37
Figura 3 - Frequências resultantes	37
Figura 4 - Modulação completa	38
Figura 5 - Analisador CSI 2130	40
Figura 6 - Painel Superior.....	41
Figura 7 - Painel Inferior.....	42
Figura 8 - Porta USB	43
Figura 9 - Analisador VIBXPERT II da Pruftechnik.....	46
Figura 10 - Conexões	47
Figura 11 - Conexões	49
Figura 12 - Tela Supervisório	50
Figura 13 - Exemplificação	51
Figura 14 - Supervisório no Mercado	51
Figura 15 - Pop up controle de Motor	52
Figura 16 - Pop up controle de Motor 2.....	52
Figura 17 - Sistema Supervisório In Touch	53
Figura 18 - Histórico Trend.....	53
Figura 19 - OMNITREND® Multi-usuários PC Software	54
Figura 20 - OMNITREND® PC Software 2.....	55
Figura 21 - Sensores de Vibração.....	57
Figura 22 - Acelerômetro.....	60
Figura 23 - Montagem	60
Figura 24 - Acelerômetro.....	61
Figura 25 - Proxímetro	62
Figura 26 – Ponto de medição	62
Figura 27 – Ponto de medição	63
Figura 28 – Proxímetro 2.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo Médio de Equipamentos de Análise de Vibração.....	644
--------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
AM	Modulação em Amplitude
PC	<i>Personal Computer</i> (Computador pessoal)
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
RS232	Forma de Comunicação
mA	Mili Ámpères (unidade de corrente)
CC	Corrente Contínua
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (fibra de média densidade)
MW	<i>Mega Wats</i>
GB	<i>GigaBytes</i>
IP65	Tipo de Grau de Proteção
LMS	<i>Least-Mean-Square</i> (Sistema de Gestão de Aprendizagem em trabalho colaborativo)
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Valor Quadrático Médio ou Valor eficaz)
EPI	Equipamento de Proteção Individual
Hz	<i>Hertz</i> (Unidade de Frequência)
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i> (ferramenta matemática)
DFT	<i>Fast Fourier Transform</i> (ferramenta matemática)
Vpp	Tensão de Pico
V	<i>Volts</i> (unidade de tensão)
T(s)	Tempo em Segundos
CA	Corrente Alternada
DLP	<i>DownLoadable Program</i> (software)
PCMCIA	Tipo de Abertura do Analisador
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (diodo emissor de luz)
ATA	Tipo de Cartão
SRAM	Tipo de Cartão
CSI	Equipamento Analisador
SAP	<i>Systems, Applications, and Products in Data Processing</i> (sistemas, aplicativos e produtos em processamento de dados)
ERP empresarial)	<i>Enterprise Resource Planning</i> (sistemas integrados de gestão empresarial)
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
NSDT	<i>Non-Schedule Downtime</i> (Paradas não planejadas)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA DA PESQUISA.....	14
1.1.1 Delimitação do tema	15
1.2 PROBLEMA	15
1.3 PREMISSE	15
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 Objetivo Geral.....	16
1.4.2 Objetivos Específicos.....	16
1.5 JUSTIFICATIVA.....	17
1.6 MÉTODO DA PESQUISA	18
2 DESENVOLVIMENTO.....	18
2.1 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1.1 Conceito de Manutenção	18
2.1.2 Tipos de Manutenção	19
2.1.3 Fundamentos sobre vibrações.....	25
2.1.4 Definição das variáveis	29
2.1.5 Desenvolvimento da análise de vibração.....	29
2.1.6 Manutenção preditiva: fator primordial de investimento.....	31
2.1.7 Medidor de Vibração de Nível Global (Sem filtro).....	31
2.1.8 Medidor de Vibração com Análise de Frequência	32
2.1.9 Analisadores de Frequência por Transformada de Fourier.....	33
2.1.10 Quantificação e Severidade de vibração	35
2.1.11 Modulação AM.....	36
3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	39
3.1 SISTEMAS DE ANÁLISE: <i>OFF-LINE</i>	39
3.1.1 O Analisador CSI 2130 da <i>Emerson Process</i> :.....	40
3.2 O Analisador <i>VIBXPRT II</i> da <i>Pruftechnik</i> :.....	46
3.2.1 O Sistema de monitoramento de vibração on-line: <i>Vibnode</i>	48
3.3 O Sistema SAP	56
3.3.1 Sensores de Vibração:.....	57
3.3.2 Acelerômetro	58
3.3.3 Proxímetros	61
3.3.4 Os pontos de medições:	62
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	65
4.1.1 A terceirização da manutenção preditiva	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de operação dos equipamentos baseados em elementos que informam seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se do tipo de manutenção que expressa o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado.

Uma vez que a manutenção preditiva se realiza, e que se perceba uma tendência, dentre os vários métodos utilizados em uma empresa para implantação da manutenção preditiva, destacam-se a medição, análise e controle de vibrações mecânicas, que se trata de um fenômeno físico, caracterizado por movimento mecânico de alta frequência e baixa amplitude de deslocamento, que leva a geração de ruído e desgaste prematuro de componentes das máquinas industriais.

O maquinário fabril é composto de equipamentos como eixos que giram a altas rotações e induzem movimento vibratório a todo o sistema.

Devido às consequências das vibrações mecânicas nos equipamentos ao longo do tempo, houve um considerável aumento no volume de recursos para aprimoramento na utilização das máquinas em prol da produção, de maneira a reduzir os efeitos desagradáveis da vibração mecânica.

Durante a fase de projeto procura-se prever pontos suscetíveis a causar falhas prematuras em equipamentos, onde através da análise de vibração seja possível eliminar as fontes de vibração, através da utilização de componentes como os isoladores de vibração. Esses componentes são constituídos de materiais elastoméricos, com propriedades de amortecimento e rigidez adequadas para as aplicações relacionadas ao controle e análise de vibração.

De maneira geral, os resultados econômicos obtidos em curto prazo, através da monitoração da condição baseada na análise de vibração são percebidos na redução de intervenções de manutenção em até 70%, depois de reduzido período de monitoração e pela possibilidade de planejamento de intervenções com conhecimento prévio da época e causa das falhas. (NEPOMUCENO; LAURO XAVIER 1989).

O presente trabalho procura trazer uma possível solução para problemas como defeitos de desbalanceamento de massa e desalinhamento de eixos que, podem ser identificados através da Análise Espectral e falhas em rolamentos que,

requerem uma análise mais refinada, a qual pode ser realizada através da técnica do envelope, além da aplicação de sensores de vibração nas carcaças do segmento de desfibradores os quais auxiliam na análise de falhas operacionais, como por exemplo, no caso de desarme do motor principal de acionamento ocorrido por sobrecarga decorrente da passagem de material que não recebeu o tratamento correto no processo em que está contido.

Entre outros fatores, uma vez que em ritmo operacional normal a vibração na carcaça do segmento é uma das principais para diagnóstico além de falhas nos equipamentos, neste caso falhas operacionais. Outro exemplo de utilização desta variável para garantir a estabilidade no processo de fabricação de MDF (*Medium Density Fiberboard*), é a utilização nos ventiladores, responsáveis por transportar o ar quente que seca a fibra, uma das principais fases do processo para que seja fabricado um produto com qualidade através do controle da umidade da fibra e, estes operam dentro de um *setpoint* de velocidade definido de acordo com a velocidade de produção.

A velocidade de produção é definida de acordo com a espessura do material que está sendo produzido, sendo assim variações bruscas na vibração de ventiladores, além de possíveis falhas em componentes mecânicos, muitas vezes indicam velocidades fora do padrão para a produção naquele momento, sendo assim um exemplo de utilização para garantia da qualidade.

Desta forma, através do estudo e da aplicação de técnicas de análise de vibração utilizando os modernos equipamentos e *softwares* de monitoramento destas variáveis físicas uma empresa de MDF, como de qualquer outro segmento, consegue garantir além de um índice alto de disponibilidade de produção, outras vantagens como: redução dos custos de manutenção, redução de falhas nas máquinas, redução de estoques de sobressalentes, redução de horas extras para manutenção, redução dos riscos de acidentes com colaboradores e riscos ambientais, aumento na vida das máquinas, aumento da produtividade, aumento dos lucros e aumento da qualidade, entre outros.

:

1.1 TEMA DA PESQUISA

Medição, análise e controle de vibração em máquinas industriais:

1.1.1 Delimitação do tema

A empresa modelo foi escolhida devido ao seu exemplar programa de análise de vibração, contando com equipamentos confiáveis para medição *OFF-LINE*, além de um moderno sistema de monitoramento *ON-LINE*, que realiza a medição e coleta de dados, analisa-os e controla, gerando alarmes nos sistemas de supervisórios e intertravamento de condições do processo.

O projeto visa exemplificar os métodos usados pela empresa para serem usados como base para empresas com deficiência neste processo.

1.2 PROBLEMA

Os problemas ocasionados pela vibração mecânica muitas vezes são cruciais para a eficaz operação dos equipamentos fabris. As vibrações que não são devidamente tratadas podem aumentar os níveis de desgaste, como exemplo, limitar a vida útil de um rolamento, além de avariar o equipamento fabril.

A vibração dos equipamentos pode também causar ruídos, provocar problemas de segurança e levar à degradação das condições de trabalho numa fábrica. Em alguns casos pode elevar o consumo de energia elétrica, devido a sobrecarga nos equipamentos e comprometer a qualidade do produto fabricado.

Em casos mais críticos, a vibração pode levar o equipamento à quebra, sendo necessária intervenção corretiva o que, muitas vezes vem acompanhado de paradas de produção ou redução do ritmo operacional.

1.3 PREMISSA

A vibração das máquinas industriais, uma vez controlada apresenta determinados aspectos positivos, pois, se forem devidamente medidas, corretamente definidos os alarmes, os tipos de acelerômetros, periodicidades, pontos de medição, filtros para demodulação, tempo de captura dos sinais, interpretação dos espectros em função da frequência e em função do tempo (coletando dados de processo periodicamente, monitorando as variações com a utilização de equipamentos adequados, utilizando rotas de inspeção pré-

estabelecidas além dos sistemas de monitoramento *on-line*) analisando os dados e controlando o excesso de vibração, esta sistemática pode ser utilizada como um bom indicador das condições do equipamento, contando ainda com o auxílio dos *softwares* disponíveis no mercado para melhorar o controle, operações e manutenções das plantas industriais.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da presente pesquisa foi estudar em uma empresa de grande porte, as contribuições sobre a tecnologia de analisadores e coletores de dados de vibração, para aplicação em empresas que possuam deficiências operacionais em relação ao controle de vibrações.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Ampliar o nível de confiança no desempenho dos equipamentos nas linhas de produção;
- Definir, previamente, a necessidade de serviços de manutenção numa peça específica de um equipamento (rolamentos, mancais, eixos, etc);
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos (motores, bombas, ventiladores, compressores);
- Reduzir o trabalho de emergência não planejado;
- Determinar previamente as interrupções de fabricação para cuidar dos equipamentos que precisam de manutenção.

Sendo os equipamentos utilizados para análise de vibração: o coletor analisador de dados *Vibxpert II da Pruftechnik*, que possui dois canais de medição para diagnósticos complexos, alta capacidade de armazenamento de dados (2GB), ideal para uso em áreas industriais (grau de proteção IP65), onde os valores globais coletados são vibração em aceleração, velocidade e deslocamento e utilizando o

software Omnitrend também da *Pruftechnik* os dados coletados em campo são tratados e analisados, onde neste *software* pode-se realizar todo gerenciamento das atividades de análise de vibração e controle de manutenção e parâmetros de processo.

1.5 JUSTIFICATIVA

A análise da vibração é uma técnica que utiliza como princípio o monitoramento de condição de máquinas, através da identificação de alterações na vibração interligando isso ao acompanhamento de tendências. Equipamentos diferentes têm modos potenciais de falha distintos, o que muda de acordo com a classificação: Máquinas Acionadoras (Motores elétricos, motores de combustão, turbinas), transmissões (Acoplamentos, Engrenagens, correias) e Máquinas Acionadas (Bombas, Compressores, Geradores, Transportadores, entre outros). Já que a maioria dos equipamentos normais da planta industrial de manufatura e de processo são sistemas eletromecânicos, a manutenção preditiva baseada em vibração é a técnica que domina a maioria dos programas de gerência de manutenção.

Os programas de manutenção preditiva mais amplos utilizarão análise de vibração como ferramenta primária associada com espectros de corrente, que geralmente vem associada num mesmo instrumento coletor de dados, assim o monitoramento da vibração fornecerá a melhor ferramenta para coleta de rotina e identificação de problemas incipientes.

A análise de vibração é caracterizada em dois fatos básicos: (1) todos os modos de falha comuns incluem componentes distintos de frequência de vibração que podem ser isolados e identificados, e (2) a amplitude de cada componente distinto de vibração permanecerá constante a menos que haja uma alteração na dinâmica operacional da máquina.

O foco é adotar e usar como exemplo o gerenciamento de manutenção usado por tal madeireira, pois seu índice de MTBF (*Mean Time Between Failures*) é extremamente alto, ou seja, a manutenção preditiva realmente funciona nessa empresa, esse modelo pode ser adotado por diversas empresas, principalmente as que estão com alta em manutenção corretiva, o que ocorre devido a falha da

manutenção preditiva aplicada, o que implica em maiores números de NSDT (*Non-Schedule Downtime*), o que afeta diretamente a produção.

O acompanhamento por análise de vibração tem como alvo principal:

- Aumentar a disponibilidade do equipamento;
- Redução de custos;
- Evitar desgastes prematuros de componentes;
- Evitar intervenções desnecessárias;
- Evitar riscos de acidentes.

1.6 MÉTODO DA PESQUISA

Os métodos seguidos para execução da pesquisa dividiram-se em duas partes: a primeira se constituiu de uma pesquisa bibliográfica e a segunda em levantamento de dados. Em seguida, com dados e informações obtidos foram levantados os respectivos pontos para o sucesso de um programa de manutenção preditiva baseado na análise de vibração, com ênfase nos equipamentos de coleta de dados e *softwares* analisadores.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo desenvolve os principais conceitos abordados para o desenvolvimento do trabalho. Apresenta o encadeamento das idéias que servirão de base para a construção do conhecimento no trabalho.

2.1.1 Conceito de Manutenção

A manutenção é extremamente importante para uma organização, visto que um sistema e uma equipe de manutenção bem adaptados, programados e preparados permitem um melhor desempenho da estrutura como um todo.

A manutenção é vista como um setor de suporte à produção e interconectada diretamente a todas as áreas. Deverá fazer parte do contexto de gestão empresarial, trata-se de uma área fundamental e primordial para as empresas e desta forma definir um sistema de gestão é sinônimo de sucesso. (NEPOMUCENO; LAURO XAVIER 1989).

Segundo Mirshawka (1993), os objetivos próprios de uma gerência de manutenção moderna são: maximizar a produção com menor custo e a mais alta qualidade sem infringir normas de segurança e sem causar danos ao meio ambiente, ou seja, garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção e serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado.

2.1.2 Tipos de Manutenção

Manutenção Corretiva: é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado. A manutenção corretiva pode ser dividida em 2 classes. A manutenção Corretiva não planejada (operar até quebrar) é a correção de falha de maneira aleatória, ou seja, é a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado após a ocorrência do feito. Este tipo de manutenção implica em altos custos, pois a quebra inesperada acarreta perdas na produção. (RAO, 2008)

Já a Corretiva planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha em função do acompanhamento preditivo ou da decisão de o equipamento operar até a quebra. Mesmo que a decisão gerencial seja deixar o equipamento funcionar até a quebra, essa é uma decisão conhecida e algum planejamento pode ser feito se a falha ocorrer.

Métodos de Execução

- Reativa novamente a função básica do equipamento.
- Analisar a falha, para que o problema não ocorra novamente.

Manutenção Preventiva: é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado. Normalmente os fabricantes fornecem dados precisos para a adoção de um plano de manutenção preventiva.

Como se tem a tendência de ser conversador, os intervalos de manutenção são menores que o necessário, o que implica trocas e paradas desnecessárias.

Atualmente todo e qualquer custo de manutenção deve ser programado, garantindo um orçamento pré-definido, o que permite um melhor planejamento para a gestão estratégica da empresa.

Com uma programação eficaz de manutenção preventiva é possível saber a variação orçamentária ao longo do ano, e as necessidades de investimentos, permitindo a programação de compra sem comprometer a fluxo de caixa da organização.

Os equipamentos devem ser classificados por criticidade e após análise detalhada de cada equipamento, define-se o tempo de vida útil de seus componentes, com estes dados pode-se programar e projetar os custos de manutenção.

Sabe-se que equipamentos que não possuem manutenções preventivas geram muitas corretivas, afetando diretamente a produtividade e sobrevivência da empresa. (NEPOMUCENO; LAURO XAVIER 1989).

Manutenção Preditiva: a manutenção preditiva indica condições reais de funcionamento de máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação.

Trata-se de um processo que prevê o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado. Atuando com base na modificação de parâmetro de condição ou desempenho do equipamento. A manutenção preditiva pode ser comparada a uma inspeção sistemática para o acompanhamento das condições de máquinas e equipamentos (NEPOMUCENO; LAURO XAVIER 1989).

Os objetivos da manutenção preditiva são:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção numa peça específica de uma máquina ou equipamento;
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- Impedir o aumento dos danos;
- Reduzir o trabalho de emergência não planejado;
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;
- Aumentar o grau de confiança no desempenho de um equipamento ou linha de produção;
- Determinar previamente as interrupções de fabricação para cuidar dos equipamentos que precisam de manutenção.

Por meio desses objetivos, pode-se deduzir que eles estão direcionados a uma finalidade maior e importante: redução de custos de manutenção e aumento da produtividade. Para ser executada, a manutenção preditiva exige a utilização de aparelhos adequados, capazes de registrar vários fenômenos vibrações das máquinas; pressão; temperatura; desempenho; e aceleração (NEPOMUCENO; LAURO XAVIER 1989).

Com base no conhecimento e análise dos fenômenos, torna-se possível indicar, com antecedência, eventuais defeitos ou falhas nas máquinas e equipamentos. A manutenção preditiva, após a análise dos fenômenos, adota dois procedimentos para remeter os problemas detectados: estabelece um diagnóstico e efetua uma análise de tendências. No diagnóstico, detectada a irregularidade, o responsável terá o encargo de estabelecer, na medida do possível, um diagnóstico referente à origem e à gravidade do defeito constatado. Este diagnóstico deve ser feito antes de se programar o reparo. (NEPOMUCENO; LAURO XAVIER 1989).

Já a análise da tendência da falha consiste em prever com antecedência a avaria ou a quebra, por meio de aparelhos que exercem vigilância constante predizendo a necessidade do reparo. Geralmente, adotam-se vários métodos de investigação para poder intervir nas máquinas e equipamentos. Entre os vários métodos destacam-se os seguintes: estudo das vibrações; análise dos óleos; análise do estado das superfícies e análises estruturais de peças (NEPOMUCENO; LAURO XAVIER 1989).

O princípio de análise de vibrações está baseado na idéia de que as estruturas das máquinas, excitadas pelos esforços dinâmicos, dão sinais vibratórios cuja frequência é idêntica àquelas dos esforços que os tenham provocado; e a medida global tomada em algum ponto é a soma das respostas vibratórias da estrutura aos diferentes esforços excitadores. (WANG; WILLIANG, 1995).

Segundo Mirshawka (1981) pode-se, pois, graças a captadores colocados em pontos particulares, registrar as vibrações transmitidas pela estrutura à máquina, e graças, ainda, à sua análise, identificar a origem dos esforços aos quais ela está submetida.

Dessa forma, assim que se obtém a "assinatura" vibratória da máquina quando ela era nova ou em bom estado de funcionamento, poder-se-á, por comparação, apreciar a evolução de seu estado e identificar o aparecimento de esforços dinâmicos novos, consecutivos a uma degradação em processo de desenvolvimento (BALACHANDRAN, 2011).

Todas as máquinas em funcionamento produzem vibrações que, aos poucos, levam-nas a um processo de deteriorização. Isso é caracterizado por uma modificação da distribuição de energia vibratória pelo conjunto dos elementos que constituem a máquina. Observando a evolução do nível de vibrações, é possível obter informações sobre o estado da máquina. O princípio de análise das vibrações baseia-se na idéia de que as estruturas das máquinas alteradas pelos esforços dinâmicos (ação de forças) dão sinais vibratórios, cuja frequência é igual à frequência dos agentes excitadores. Se captadores de vibrações forem colocados em pontos definidos da máquina, eles captarão as vibrações recebidas por toda a estrutura. O registro das vibrações e sua análise permitem identificar a origem dos esforços presentes em uma máquina operando. Por meio da medição e análise das vibrações de uma máquina em serviço normal de produção detecta-se, com antecipação, a presença de falhas que devem ser corrigidas: rolamentos deteriorados, engrenagens defeituosas, acoplamentos desalinhados, rotores desbalanceados, vínculos desajustados, eixos deformados, lubrificação deficiente, folga excessiva em buchas, falta de rigidez, problemas aerodinâmicos, problemas hidráulicos e cavitação. O aparelho empregado para a análise de vibrações é conhecido como analisador de vibrações. No mercado há vários modelos de analisadores de vibrações, dos mais simples aos mais complexos; dos portáteis que podem ser transportados manualmente de um lado para outro, até aqueles que são

instalados definitivamente nas máquinas com a missão de executar monitoração constante.

Dentro do conceito de pró-atividade na manutenção industrial, se tem diversas técnicas para antecipar-se às falhas em equipamentos de processo. Para exemplificar algumas delas, a Termografia, a Análise de Óleo, a Inspeção por ultrassom e a Análise de Vibração, são algumas das abordagens para quem deseja evoluir em termos de manutenção fabril. Cada uma delas é voltada para um tipo específico de diagnóstico, e deve ser empregada dependendo do tipo de máquina e do problema que se está enfrentando em concordância plena com Lauro Xavier Nepomuceno (RAO, 2008).

Com sua principal aplicação voltada para equipamentos rotativos, a Análise de Vibração emprega conceitos físicos e matemáticos, com forte presença da informática, para “compreender” sinais dinâmicos enviados por uma máquina, e como utilizar essa informação a serviço da produtividade (RAO, 2008).

Para Hustun e Liu (2011) a análise de vibrações constitui uma das poderosas ferramentas destinadas à manutenção preditiva. Dentro deste contexto, e com o objetivo de auxiliar para a melhora do processo de detecção e diagnóstico de falhas em mancais de rolamentos, é focado neste trabalho o uso da técnica da filtragem adaptativa aplicada a sinais vibratórios, através da minimização do erro médio quadrático entre a saída do filtro e um sinal de referência considerado como desejado, com e sem atraso aplicado ao sinal de entrada (LMS), e da anulação do gradiente da função objetivo do sinal de erro (RLS), baseado no filtro de Kalman.

Tais sinais vibratórios são considerados desconhecidos quanto ao comportamento das suas propriedades estatísticas. Inicialmente, tais métodos foram aplicados a modelos matemáticos de falhas corrompidos por ruído nas pistas externa (estacionária) e interna, além de nas esferas e gaiola, com diferentes intensidades de defeito. Posteriormente, a técnica foi usada em sinais vibratórios oriundos de mancais de rolamentos de esferas de uma bancada experimental operando sob condições adversas, como eixo flexionado e falta de lubrificação, o que favoreceu o surgimento de defeito na gaiola do mancal de rolamentos autocompensadores axiais. O acompanhamento da evolução dos defeitos para detecção e diagnóstico se deu por conta de parâmetros estatísticos como nível RMS, fator de crista, fator ‘K’, momento estatístico central de sexta ordem, além do método do envelope, para os dois casos de uso do método. Os resultados obtidos

mostraram que, tanto para o caso simulado, quanto para o real, a técnica da filtragem adaptativa contribuiu para a melhora do desempenho dos métodos de detecção e diagnóstico de falhas usadas, especialmente a técnica do envelope, onde foram obtidas estimativas plausíveis dos sinais de defeito do componente, sendo minimizada a influência de outras fontes vibratórias.

Todo equipamento emite uma vibração, consequência do próprio funcionamento desse equipamento. Ocorre que, em alguns casos o nível dessa vibração talvez não seja aceitável, talvez essa máquina esteja vibrando demais. Mas por qual motivo?

Algum componente ou condição interna pode estar provocando um desajuste mecânico (ou mesmo elétrico) que está gerando esse alto nível de vibração.

Para identificar o motivo é preciso se fazer uma medição nos sinais de vibração enviados por esse equipamento, e, após tratá-lo de forma que possa ser estudado, compará-lo com as características construtivas da máquina a fim de entender a origem dessa vibração excessiva. Lança-se mão, então, de equipamentos e *softwares* dedicados para essa função. Em resumo, um acelerômetro “capta” os sinais vibratórios e os envia ao coletor que faz o devido processamento e o armazena. (HUSTUN; LIU 2011). (Segundo a primeira lei de Newton: “Todo corpo permanece em repouso até que alguma força externa aja sobre ele.” Já a segunda lei define a força aplicada como o produto da massa do corpo pela sua aceleração. Logo, medindo a aceleração aplicada sobre um corpo e seu peso, é possível determinar a força aplicada sobre ele. Um acelerômetro nada mais é que um instrumento capaz de medir a aceleração sobre objetos. Ao invés de posicionar diversos dinamômetros (instrumento para medir a força) em lugares diferentes do objeto, um único acelerômetro é capaz de calcular qualquer força exercida sobre ele).

Para Hustun e Liu (2011) esse sinal vai ser analisado em um *software* (algumas vezes no próprio coletor, que agrega as funções de analisador) e com base nessa análise, será gerado um relatório, onde deverá constar:

- a) Os níveis de vibração encontrados são aceitáveis ou não?
- b) O que está gerando esses níveis de vibração?
- c) O que fazer para corrigir esse problema?

É conveniente dizer que em Análise de Vibração não se “acha”, não se “chuta” nem se “adivinha” nada. Tudo é tratado dentro da matemática e da física.

2.1.3 Fundamentos sobre vibrações

Dentro dos fundamentos das vibrações mecânicas, é preciso absorver de forma fácil, conceitos muito importantes, tais como: Período e Frequência. O bom entendimento desta etapa irá influir na compreensão das etapas seguintes. Afinal, o que é vibração? Um corpo vibra quando descreve um movimento oscilatório em relação a um sistema de referência. Ou seja, vibração pode ser definida como um movimento de oscilação de um corpo em torno de sua posição de equilíbrio. Um conjunto mecânico durante seu funcionamento irá vibrar naturalmente, pois a transferência de qualquer energia a esse conjunto irá trazer vibração em escala natural. Todo movimento que se repete após um intervalo de tempo. O balanço de um pêndulo e o movimento do dedilhar de uma corda são típicos exemplos de vibração. O número de ciclos de movimento em um segundo é chamado de frequência, medido em *hertz* (Hz) (RAO, 2008). A transformação de energia elétrica em energia mecânica gera em seu princípio uma carga vibrante, pois a energia elétrica por seu efeito magnético é puramente vibratório. Assim, dentro de determinado padrão, pode-se admitir essa carga de vibração às máquinas e equipamentos. A frequência de um movimento vibratório pode ser definida como o número de oscilações completas, por um intervalo de tempo. Se houver ruído, a frequência é uma escala que indica a intensidade sonora. É dessa forma que medimos a intensidade das caixas acústicas. O período de um movimento vibratório é o tempo que ele gasta em uma vibração completa, ou seja, é o tempo gasto em um ciclo apenas. Sendo assim, pode-se estabelecer que a vibração esteja sempre presente nas máquinas e equipamentos, esta irá ocorrer por causa dos efeitos dinâmicos de tolerâncias de fabricação, folgas, contatos, o atrito entre peças de uma máquina e, ainda, devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e de movimentos alternados. A corrente de excitatriz, por exemplo, é um exemplo de aproveitamento do movimento vibratório, pois tem como efeito a propagação da corrente elétrica.

Mas, é comum acontecer que vibrações insignificantes excitem as frequências de outras peças da estrutura, transformando-se em vibrações e ruídos indesejados. Pode-se observar este comportamento nos mancais de rolamentos, que sofrem cargas radiais e axiais a princípio e com os esforços do funcionamento vão transferindo em escala gradual a vibração, o ruído e conseqüentemente o aumento da temperatura. Esse processo de observação da vida útil dos mancais de rolamento classifica-se como manutenção preditiva, o que nos dá condição de estudo dos efeitos dos movimentos vibratórios (RAO, 2008).

A condição geral do equipamento ou máquina irá determinar o grau de intensidade das repetições. Uma máquina devidamente alinhada e em condições consideráveis de tolerâncias e ajustes, certamente apresentará índices de conformidade aceitáveis de vibrações. Já quando as condições gerais forem de desgastes e sobrecargas, teremos uma maior intensidade nessas variações, conseqüentemente, maiores índices de vibrações. A vibração livre é tipo de vibração que ocorre em situações em que a massa do sistema estrutural é deslocada de sua posição de equilíbrio e então liberada. Tem-se vibração livre presente nos conjuntos mecânicos, todas as vezes que estes são retirados de sua posição de repouso, mas essa é uma situação teórica, já que a máquina necessita de funcionar durante o processo ao qual está inserida. Na prática, temos a vibração livre amortecida, quando se utiliza amortecedores para equilibrar os equipamentos e amenizar os efeitos das vibrações. De maneira geral, temos a vibração forçada ou regime permanente, quando os efeitos da transferência de energias geram uma ação contínua de movimentos vibratórios. (HUSTUN; LIU 2011).

Para compreender os parâmetros dos movimentos vibratórios, deve-se observar que qualquer movimento periódico é composto por uma série de movimentos harmônicos simples, cada um deles descrito por uma função senoidal. É, como se duas pessoas segurassem uma corda e uma delas movimentasse a mesma descrevendo um movimento alternado, assim pode-se observar um movimento harmônico de função senoidal. As máquinas e equipamentos apresentam em seu funcionamento esse deslocamento senoidal, característico da vibração presente nesse conjunto. A amplitude desse movimento será a medida da intensidade da vibração descrita por esse conjunto. Esse movimento será descrito como uma frequência natural, onde se verifica a variação da amplitude do deslocamento do conjunto e do período com a variação da massa do sistema.

Quando acontece aumento da amplitude dessa frequência natural, devido à ação de um agente externo, classificamos como sendo uma ressonância, quando a excitação desse conjunto se torna contínua, agravando os níveis de vibrações. Portanto, os equipamentos devem estar sempre em condições próximas de sua frequência natural, para que não fique sujeitos às ressonâncias, o que reduziria a vida útil dos mesmos. (RAO,2008).

Segundo o autor Rao (2008) os fatores que afetam as vibrações são:

1.Desbalanceamento de partes rotativas e balanceamento do rotor:

O desbalanceamento do rotor da bomba pode gerar grandes forças de desbalanceamento, resultando em carregamento excessivo do rolamento e do eixo e indução de altos níveis de vibração. A magnitude da vibração da bomba causada pelo desbalanceamento do rotor é influenciada também pela massa da carcaça da bomba: na medida em que a carcaça da bomba aumenta, a magnitude da vibração medida no suporte dos rolamentos diminui.

2.Frequência natural e ressonância

A operação de uma bomba em uma rotação próxima à frequência de passagem da bomba ou a uma das frequências naturais mais baixas da estrutura pode resultar em condição ressonante.

3.Ressonância hidráulica na tubulação

Problemas de vibração podem ser causados por ressonância hidráulica do líquido dentro do sistema bomba/tubulação. Quando pulsações de pressão induzidas pela bomba são refletidas pelo sistema de tubulações e adicionadas em fase ao pulso da fonte, a amplitude do pulso é aumentada. Altas pressões resultantes podem causar falhas mecânicas tanto na tubulação quanto nos componentes da bomba, podendo gerar níveis de ruídos inaceitáveis e causar vibração dos componentes do sistema.

A experiência tem mostrado que as seguintes medidas podem provar ser efetivas na correção da ressonância hidráulica:

- a) modificar a tubulação ressonante;
- b) mudar a rotação da bomba;
- c) mudar as características internas de projetos da bomba;
- d) inserir um amortecedor (damper) no sistema bomba/tubulação.

Modificações na bomba, tubulação ou estruturas de suporte que não mudam a resposta da pulsação (frequência natural hidráulica) do sistema bomba/tubulação não corrigirão a condição ressonante.

4. Perturbação hidráulica

A seguir está uma lista de algumas perturbações hidráulicas:

- a) recirculação e forças radiais em vazões baixas;
- b) separação do fluido em altas vazões;
- c) perturbações na vazão na entrada da bomba devido a inapropriado projeto;
- d) entrada de ar ou aeração do líquido;
- e) ressonância hidráulica na tubulação;
- f) sólidos contidos no líquido, como água residual, colidindo com a bomba e causando desbalanceamento.

5.- Outros problemas mecânicos

Desalinhamento do eixo, rolamentos danificados, eixo curvado e inadequados suportes da tubulação são também causas frequentes de vibração.

A seguir, é mostrado um exemplo de folha de dados de levantamento de vibrações.

1. Procedimento de Coleta de Dados para Análise de Vibração.1.
OBJETIVO Padronizar a atividade de coleta de dados para análise de todos os equipamentos e máquinas, a fim de igualar os conhecimentos e facilitar as programações de execução, disponibilizando o equipamento para a produção com confiabilidade e segurança, sem agredir o meio ambiente e minimizando o tempo desprendido.
2. ALTERAÇÃO DA REVISÃO Itens alterados
3. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES Ordens de Serviços
4. RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO - Supervisores de Manutenção. - Mecânico. - Terceiros Contratados.
5. MATERIAIS NECESSÁRIOS - Aparelho Analisador.
6. EPI's NECESSÁRIOS - Capacete. - Protetor Auricular – Luvas nitrílicas ou de raspa – Óculos de segurança - Bota de segurança - Cinto de Segurança - Máscara de proteção.

2.1.4 Definição das variáveis

Vibração está presente em qualquer sistema à medida que este responde a sua excitação. Isto é válido para todos os equipamentos e máquinas que estão sujeitos a variação de vibrações. Os parâmetros de vibração associados com máquinas rotativas são usualmente expressos em termos de deslocamento, velocidade e aceleração. Todas as variáveis representam o quanto o equipamento está vibrando. A frequência é outra variável de importância na análise de vibração, que ajuda a verificar sua origem, ou seja, o que está causando tal vibração (RAO,2008).

2.1.5 Desenvolvimento da análise de vibração

Preparação para o início das coletas dos dados.

- 1) Montar todos os dispositivos do aparelho analisador.
- 2) Conferir as condições do aparelho analisador. Definir a rota a ser seguida. Modelo de um equipamento de coleta de dados para análise de vibração.
- 3) Seguir a rota pré-determinada para a coleta dos dados. a- Iniciar a coleta de dados pelo equipamento do setor.
- 4) Seguir as coletas pelos equipamentos dos setores subsequentes de forma que o setor indicado facilite o percurso e as medições.
- 5) Não atropelar a rota estabelecida, pois cada rota determina uma responsabilidade operacional diferente e é de extrema necessidade que o operador responsável pela área onde for realizada a coleta, saber da permanência do colaborador durante todo o período de execução da atividade.

Coleta dos dados para análise de vibração.

- 1) Posicionar-se corretamente diante do equipamento, de forma que não permaneça no raio de ação do sentido de giro do mesmo.

- 2) Posicionar e montar o dispositivo do aparelho de coleta de dados de forma correta no equipamento, evitando assim o contato com o equipamento em movimento, tanto do colaborador quanto do aparelho. Os pontos de medição devem estar previamente definidos para que o colaborador tenha uma sequencia lógica e rápida durante a execução da atividade. O dispositivo deverá ser instalado de forma que o colaborador possa coletar os dados sem se expor aos riscos de se aproximar demais das partes móveis dos equipamentos podendo operá-lo sem se preocupar em sustentar nenhum outro componente que não seja o analisador.
- 3) Manter uma postura correta durante a realização da atividade de coleta de dados para análise de vibração. Manter-se longe do raio de ação do equipamento em movimento, e com uma postura correta, a fim de evitar projeções de líquidos ou partículas, problemas lombares e ou musculares. Não retirar nenhum dispositivo do equipamento em movimento. Manter o equipamento intacto, principalmente não remover as proteções das partes rotativas.
- 4) Não deixar pontos de agarramento tanto do uniforme, do alçado aparelho ou dos cabos de alimentação. Manter o aparelho preso ao corpo para evitar queda e impacto do mesmo. Os cabos de alimentação curtos e esticados, para evitar que as partes girantes do equipamento possam agarrar as pontas e puxar o colaborador. Atividades com estes fins não devem ser realizadas por um único colaborador, visto que os equipamentos se encontrarão em operação e os locais não estão sempre ao alcance dos olhos do operador.
- 5) Ter sempre um observador durante a execução da atividade, a fim de evitar quaisquer incidentes e ou algum mal súbito, de forma que seja possível prestar algum socorro caso necessário.

Análise dos dados coletados.

Os dados coletados deverão ser analisados em laboratório específico ou escritório onde tenha o software para avaliação do espectro.

Envio dos Laudos das análises.

Como a análise e interpretação dos espectros é realizado por uma empresa contratada, os laudos e espectros devem ser enviados via *e-mail* para os responsáveis da área. “Nenhuma atividade é tão urgente, ou serviço é tão importante que não possa ser realizado com segurança.” (SPECTRUM PREDITIVA, 2004).

2.1.6 Manutenção preditiva: fator primordial de investimento

A implantação de um programa de manutenção preditiva independente da técnica aplicada é o fator primordial para o tão esperado sucesso e retorno de investimento.

A escolha dos equipamentos que farão parte do programa, a classificação de sua significância operacional, sua identificação e de seus respectivos pontos de medição e de coleta de dados determinam padrões e garantem a confiabilidade.

A definição de parâmetros, níveis de alarme, e frequências de falha exige conhecimento das características técnicas de cada equipamento e completam os requisitos para a construção de um banco de dados completo e eficaz. (SPECTRUM PREDITIVA, 2004)

2.1.7 Medidor de Vibração de Nível Global (Sem filtro)

O medidor de vibração de nível global é um instrumento capaz de medir o valor global de vibração (pico ou rms), em uma extensa faixa de frequência, que depende das normas e padrões aplicáveis. Pelo seu funcionamento, este instrumento mede a vibração total resultante da ação de todas as frequências presentes no sinal de vibração, dentro da faixa considerada. As medições são comparadas com padrões gerais (normas) ou valores de referências estabelecidos para cada máquina. A condição da máquina é assim avaliada no campo, com o mínimo de dados.

Este tipo de medidor deve ter a capacidade de medir o valor “*true*” RMS ou valor de pico de velocidade, deslocamento e, em alguns casos, aceleração, sobre uma faixa de frequência de 5 Hz à 5.000 Hz. Em casos de falta de valores de referência, as leituras de velocidade em RMS podem ser diretamente comparadas

com critérios de severidade de vibração normalizados que podem indicar a necessidade de manutenção.

O medidor de vibração de nível global é um instrumento com grande capacidade de detecção de mau funcionamento de máquinas, porém possui capacidade limitada para a identificação e diagnóstico, tarefas estas que devem ser realizadas por medidores de vibração com análise de frequência ou analisadores por Transformada de Fourier. No caso específico de mancais de rolamentos onde, vibrações de outras fontes não predominam, é possível detectar deterioração de mancais, em seus estágios ainda iniciais. Para esta finalidade, o medidor de vibração deve ser chaveado para a leitura simultânea do valor RMS e valor de Pico. (RANGEL 2010)

Os defeitos nos elementos rodantes e/ou pistas são responsáveis por pulsos de vibração em alta frequência que podem ser medidos através do medidor de nível global de vibração. Nos estágios iniciais de falhas, os picos resultantes dos pulsos de vibração tem pouca influência sobre o valor RMS, e grande influência sobre o valor de Pico. (RANGEL 2010)

Dessa forma, à medida que a deterioração do rolamento aumenta, a relação entre o Valor de Pico e o Valor RMS aumenta consideravelmente (de 3 para aproximadamente 10 vezes). Por outro lado, nos estágios mais avançados de falhas, os defeitos já não apresentam grande influência sobre o valor de Pico, porém o valor RMS, nesse instante, sofrerá grande alteração. A relação entre o valor de Pico e o valor RMS, denominada Fator de Crista, volta então a reduzir para aproximadamente 3 vezes. Dessa forma, é possível, acompanhar a evolução da condição de rolamentos, através da monitoração do Fator de Crista. (RANGEL 2010)

2.1.8 Medidor de Vibração com Análise de Frequência

Medidor de Vibração simples mede o nível de vibração global sobre uma faixa larga de frequência. O nível medido reflete o nível de vibração das componentes de frequência dominantes do espectro, que são as componentes mais importantes para serem monitoradas. Mas quando o mesmo sinal de vibração é analisado em frequência e o espectro registrado em forma de gráfico, o nível de muitos componentes, possivelmente também importantes, são revelados.

A detecção de falhas nos estágios iniciais, juntamente com o diagnóstico e previsão de quebras torna-se possível com o uso de instrumentos capazes de separar as frequências presentes no sinal de vibração. Através do estudo da máquina analisada, é possível correlacionar cada componente de frequência, com o comportamento dinâmico dos elementos de máquina. A capacidade de separação de frequências dependerá da largura do filtro utilizado pelo instrumento. Quanto mais estreita for a largura do filtro, mais fácil será a separação de frequências muito próximas e conseqüentemente mais fácil será a detecção de falhas. Não apenas os aumentos de níveis em componentes de frequência fornecem indicação de falhas, mas também a frequência em que elas ocorrem indica qual parte da máquina está se deteriorando. Para cada ponto de monitoração, desbalanceamento, desalinhamento, erosão em mancais, quebra de dentes de engrenagens, etc. Terão suas frequências características que podem ser reveladas com o auxílio da análise de frequência. O registro do aumento dos níveis para um ou mais componentes de frequência, sobre um número de medidas periódicas, possibilita a monitoração da tendência dos níveis dessas componentes em função do tempo para as falhas em desenvolvimento. (RANGEL 2010)

A curva resultante conhecida por gráfico de tendências pode ser extrapolada no tempo para indicar quando a condição atingirá limites perigosos para que a manutenção possa ser marcada antecipadamente para uma data conveniente.

2.1.9 Analisadores de Frequência por Transformada de Fourier

Alguns casos onde se deseja uma análise de frequência, com larguras de filtro muito estreita, ou deseja-se realizar a análise de frequência sobre um sinal transiente (choques) torna-se necessária a utilização de um sistema capaz de executar a Transformada de Fourier do sinal, que é uma ferramenta matemática capaz de transformar um sinal randômico, periódico ou transitório, numa série de Fourier equivalente, denominado espectro de frequência. Este instrumento baseia-se na propriedade de que quaisquer sinais podem ser decompostos numa série infinita de componentes de frequência que representa o mesmo sinal no domínio da frequência. Cada componente de frequência dessa série pode ser relacionada ao funcionamento dinâmico de determinada máquina. A utilização desse tipo de

instrumento permite que seja levantado o espectro de frequência de referência para cada ponto de medida denominada “assinatura de máquina ou *baseline*”. Dessa forma é possível comparar espectros de frequência de máquinas sob suspeita com seus espectros de referência, identificar as alterações, relacioná-las com as frequências características de falhas dos diversos elementos de máquinas, e assim, proceder ao diagnóstico. (RANGEL 2010).

O monitoramento de uma máquina é capaz de detectar um defeito na sua fase inicial quando não há riscos de quebra, permitindo um melhor planejamento na manutenção do equipamento.

Muitas vezes, os componentes que são danificados na máquina, possuem um custo bem menor em relação aos prejuízos com a parada da linha de produção. Um dos principais exemplos disto é o rolamento, que representa 40% das ocorrências de falhas dentro de uma máquina (ALMEIDA, 1990). Portanto, é imprescindível monitorar o estado de funcionamento desses componentes, através de técnicas preditivas, evitando que falhas inesperadas ocorram (ABREU, 2007).

Em vários tipos de indústria o acompanhamento e a análise de vibração tornaram-se um dos mais importantes métodos de predição. Na pesquisa realizada por Abreu (2007), foi utilizada uma bancada de testes para induzir diferentes níveis de defeitos em rolamento, como a utilização de aplicação de cargas e diferentes níveis de lubrificantes. Comparando os resultados obtidos, verificou-se a eficiência dos métodos de análise de vibração através da identificação dos espectros de frequência de cada tipo de defeito.

Na prática, os sinais de vibração consistem em um somatório de sinais periódicos de diferentes frequências, não sendo possível a distinção clara entre elas no domínio do tempo. Através da análise espectral (domínio da frequência) é possível a identificação de cada frequência, com seus respectivos níveis de vibração (FERNANDES, 2000).

A Transformada Rápida de Fourier (FFT, do inglês *Fast Fourier Transform*) é uma importante ferramenta matemática utilizada na análise de vibração. Ela é responsável pela transição entre as variáveis de um sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência (espectro de frequência). Os sinais são funções de uma ou mais variáveis independentes e, tipicamente contêm informações acerca do comportamento ou natureza de um fenômeno físico. (GONÇALVES, 2004).

No século XVII o matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) demonstrou que qualquer forma de onda pode ser representada por uma somatória de senóides e cossenóides de diferentes frequências, amplitudes e fases.

As funções periódicas são representadas por séries de Fourier; as não-periódicas são representadas por transformadas de Fourier (espectro do sinal). Uma representação de $f(x)$ é uma decomposição em componentes que também são funções, as componentes dessa decomposição são as funções trigonométricas $\sin(x)$ e $\cos(x)$.

A Transformada de Fourier pode ser aplicada na física, química, teoria dos números, análise combinatória, processamento de sinais, teoria das probabilidades, estatística, criptografia e outras áreas.

Em aplicações científicas e em processamentos digitais são utilizadas funções discretas. Para isso, usamos a Transformada Discreta de Fourier (DFT, do inglês *Discrete Fourier Transform*), a qual utiliza um número finito de pontos no domínio do tempo e define uma representação discreta do sinal no domínio da frequência.

2.1.10 Quantificação e Severidade de vibração

O objetivo da quantificação é, essencialmente, o de restringir o número de valores que o sinal digital poderá tomar, de modo a reduzir o espaço de armazenamento em *Bytes* que o sinal digital ocupará (amplitude). A quantificação consiste na conversão de um sinal amostrado num outro sinal que apenas pode assumir um número limitado de valores (o sinal quantificado). A quantificação também se designa por discretização da amplitude. Segundo pesquisa de Woyciechowski (2009) é importante distinguir maneiras diferentes de quantificar a amplitude do sinal, como amplitude zero-pico ou valor de pico, favorável na medição da resposta de choques mecânicos; amplitude pico-pico ou valor de pico-pico útil nas considerações de folgas em sistemas mecânicos; amplitude média ou valor médio, sendo a média dos valores em um intervalo de tempo e amplitude *Root Mean Square* (RMS) relacionado a energia do sinal ou sua capacidade destrutiva.

O processo de modulação consta em se fazer variar alguma característica deste sinal proporcionalmente às variações de um sinal modulador externamente aplicado.

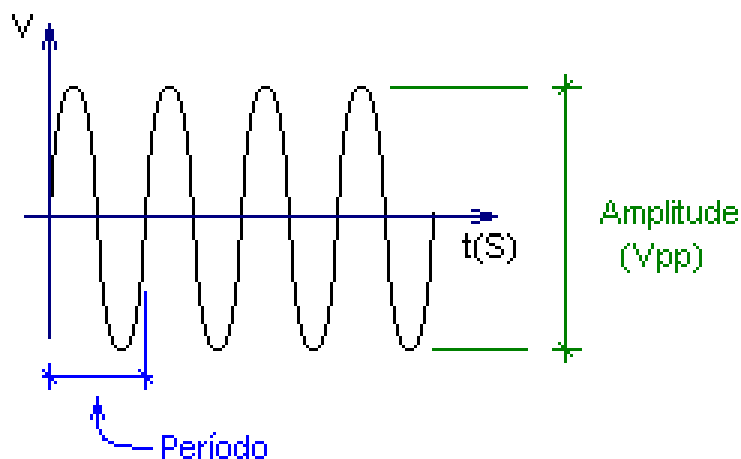


Figura 1 - Amplitude X Período
Fonte: ELETRÔNICA PROJEC (2013)

A tensão de pico a pico (V_{pp}) é a máxima tensão alcançada e definindo sua amplitude. A frequência do sinal é o inverso do valor do período e é dada pelo número de ciclos por segundo. Outra propriedade a ser considerada é a fase, esta consta de um adiantamento ou atraso do sinal, criando uma defasagem. A variação de uma destas grandezas pode ser conseguida através de circuitos chamados de moduladores, dependendo do tipo de modulador pode ser ter uma variação da amplitude, frequência ou fase da portadora.

2.1.11 Modulação AM

A modulação de amplitude (AM) é o processo em se faz controlar a amplitude do sinal de radiofrequência (portadora) em função de um sinal modulador de menor frequência, o resultado é a onda vista na ilustração seguinte.

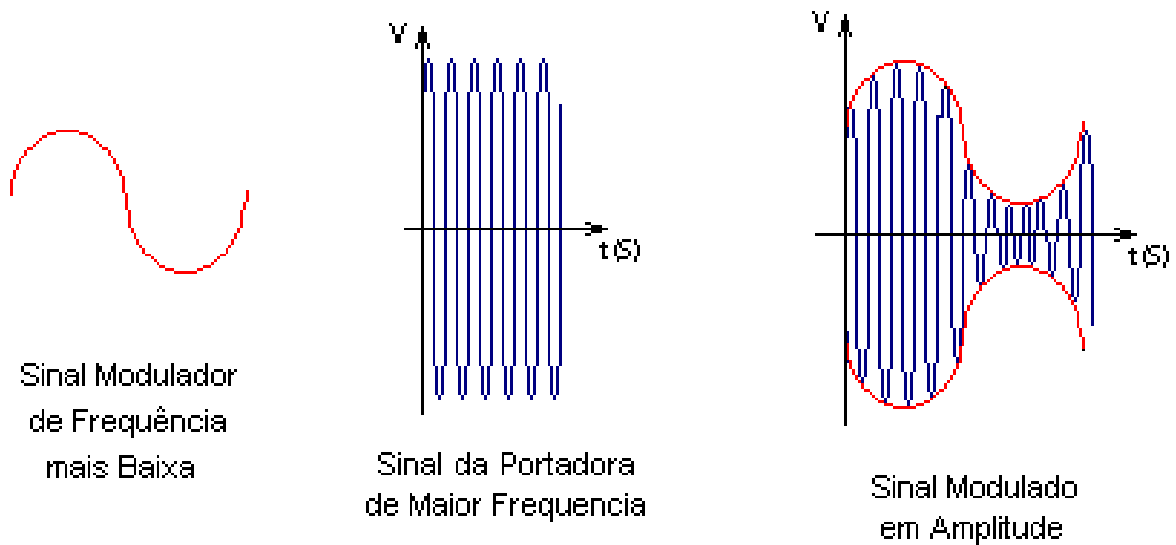


Figura 2 - Resultado da onda
Fonte: ELETRÔNICA PROJEC (2013)

Como exemplo considera-se que um sinal modulado tenha uma frequência fixa f_1 e a portadora esteja oscilando na frequência f_0 , no processo de modulação (AM) são formadas três bandas de frequências resultantes: $(f_0 - f_1)$, (f_0) e $(f_0 + f_1)$.

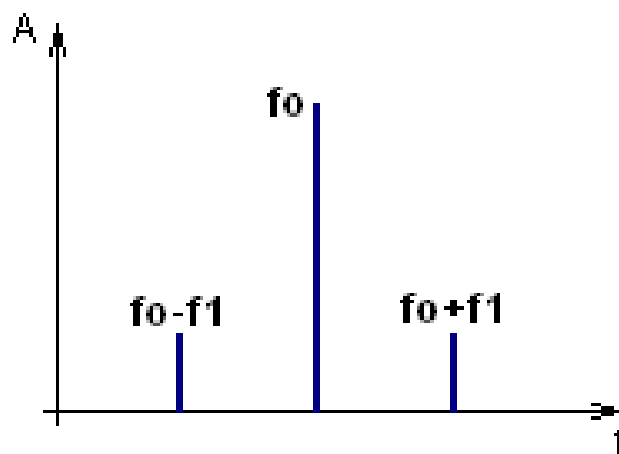
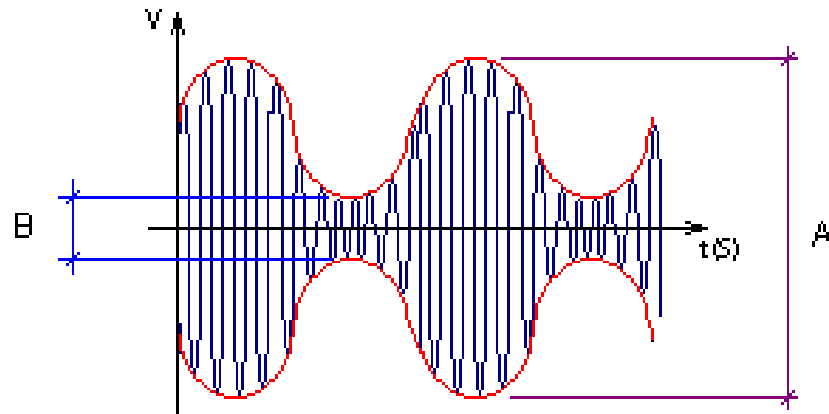


Figura 3 - Frequências resultantes
Fonte: ELETRÔNICA PROJEC (2013)

Por definição cada banda carrega parte da potência total de transmissão, sendo a portadora a que contém maior potência, não levando informação alguma. Da potência total 66,6 % é transmitida pela portadora ficando o restante para as duas bandas laterais, isto quando se atinge 100% de modulação.



Sinal AM

Figura 4 - Modulação completa
Fonte: ELETRÔNICA PROJETO (2013)

Observando os níveis de tensão do sinal modulado da figura acima, pode-se calcular a porcentagem de modulação m .

$$m = \frac{(A-B)}{(A+B)} \times 100\%$$

Segundo pesquisa de Woyciechowski (2009) a severidade de vibração é o máximo valor de vibração encontrada, dentre todos os pontos e direções recomendados. Segundo o mesmo a severidade de vibração é uma unidade característica que descreve o estado vibratório de uma máquina, usualmente chamada de amplitude de vibração, o autor ainda afirma baseado em Adyles (2004) que o parâmetro a ser medido é a velocidade de vibração absoluta sobre as partes da máquina, preferencialmente os mancais.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A coleta de dados principal desta pesquisa será de uma multinacional, considerada como referência, onde a análise de vibração é feita pela mesma, porém alguns dados também serão coletados de outras empresas, tendo elas análise de vibração como serviço terceirizado ou não, pois o foco é a benfeitoria da análise de vibração e não a forma como a empresa encara esse serviço.

A análise dos dados será feita com foco no funcionamento do processo da análise de vibração e suas benfeitorias, com o auxílio do planejador da manutenção da empresa escolhida como modelo e dos próprios técnicos da manutenção, com intuito de esplanar sobre o funcionamento do processo, os tipos de sensores utilizados, como o sinal é convertido para uma imagem gráfica, como o sinal chega a um PLC e como tal análise pode contribuir para os indicadores de desempenho da empresa, com os dados da análise em mãos ficará fácil de verificar os benefícios e os malefícios da mesma.

As técnicas de análise preditiva são as que oferecem melhores resultados em relação a produtividade de planta, devido interferir o mínimo possível no seu índice de disponibilidade.

O resultado esperado pela respectiva pesquisa busca os seguintes benefícios para a manutenção industrial:

- Elevação da confiabilidade do processo;
- Elevação da confiabilidade das maquinas e equipamentos;
- Elevação de eficiência das intervenções da manutenção;
- Redução nos custos de manutenção.

O estudo proposto busca disponibilizar as melhores praticas de analise de vibração, assim como descrever o funcionamento e a evolução dos equipamentos de medição e análise de vibração, assim como seus respectivos *softwares*.

3.1 SISTEMAS DE ANÁLISE: *OFF-LINE*

O sistema de monitoramento de vibração *off-line*:

A empresa em questão utiliza dois tipos de equipamentos para coleta e diagnóstico de vibração na maneira *off-line*, termo utilizado para quando a máquina não possui sensores de vibração para monitoramento constante, sendo assim é criado um plano de inspeção periódico que, como auxílio dos equipamentos a seguir, coleta-se os dados de vibração e realiza-se a análise via os *softwares*.

3.1.1 O Analisador CSI 2130 da *Emerson Process*:



Figura 5 - Analisador CSI 2130
Fonte: Catálogo do fabricante CSI RBM consultant (2013)

O 2130 RBM *Consultant Pro* é um dispositivo de análise e coleta de dados portátil, baseado em microprocessador, que utiliza uma avançada tecnologia de processamento digital de sinais, para permitir o armazenamento e o processamento de dados. Ele está configurado para medir, armazenar e mostrar dados de vibrações e qualquer sinal CA ou CC que não exceda mais ou menos 21 volts. A aquisição de dados pode ser executada em um formato baseado em rotas, com o programa RBMware, ou através do Programa Transferível (“DLP – *DownLoadable Program*”) *Analyze* (Análise), empregando um formato de armazenamento de dados baseado em tarefas. A entrada do tacômetro para o Analisador 2130 é armazenada internamente em uma memória intermediária, de modo que não há necessidade de um dispositivo externo de memória intermediária quando se estiver usando uma entrada de sinal de tacômetro.

O Analisador 2130 incorpora magos para análise avançada de dados e mensagens de ajuda para o usuário avaliar os dados coletados, ou para auxiliar a aquisição de novos dados para avaliação do equipamento.

O Analisador 2130 emprega um método de programação com menus e teclas de função (contextuais) para selecionar o nível do programa a ser ativado. O programa principal é chamado de Shell e inclui o programa armazenado na memória e a tela do menu principal. Os programas operacionais projetados para executar diferentes funções são carregados no Analisador 2130 como programas transferíveis ou DLPs. Os DLPs disponíveis são os programas ROTA, ANÁLISE e BALANCEAMENTO. Mais tarde teremos DLPs para ALINHAMENTO, TRANSIENTE e ANÁLISE AVANÇADA EM DOIS CANAIS.

Painel Superior (Interfaces)

O topo do Analisador 2130 tem três tipos de interfaces ou de conectores.

- A. Conector multifunção de 25 pinos.
- B. Conector ACC do acelerômetro.
- C. Conector V/Tach (Volts/Tacômetro).

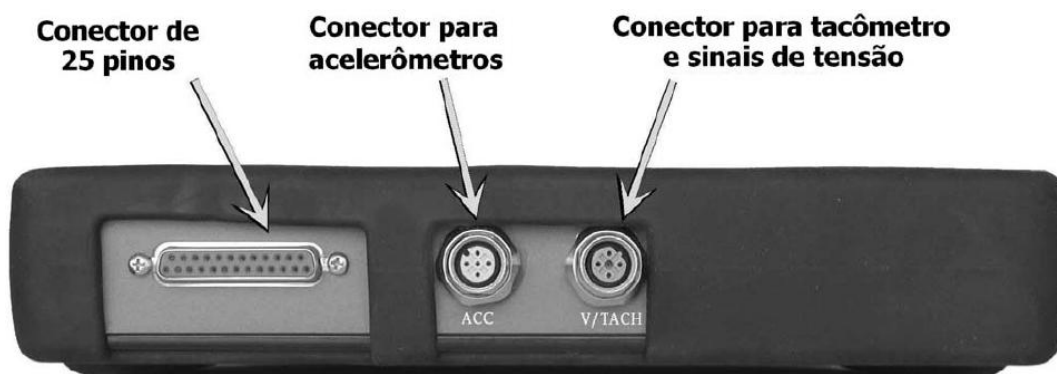


Figura 6 - Painel Superior
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Conector de 25 pinos.

Fornece a conexão para a comunicação de dados seriais entre o Analisador 2130 e o computador central e provê entradas para acelerômetros e outros sensores e acessórios.

Conector ACC do Acelerômetro

Fornece a conexão para um acelerômetro ou para um adaptador de acelerômetro de duplo canal.

Conector V/Tach

Fornece a conexão para um sinal de pulso por rotação (maior do que um volt) ou um sinal de entrada em volts (sem alimentação).

Painel Inferior

Existem dois compartimentos no painel de fundo – um contendo três portas e o outro contendo duas aberturas tipo PCMCIA. Cada compartimento tem uma tampa de borracha de cobertura. Puxe as tampas para acessar os compartimentos

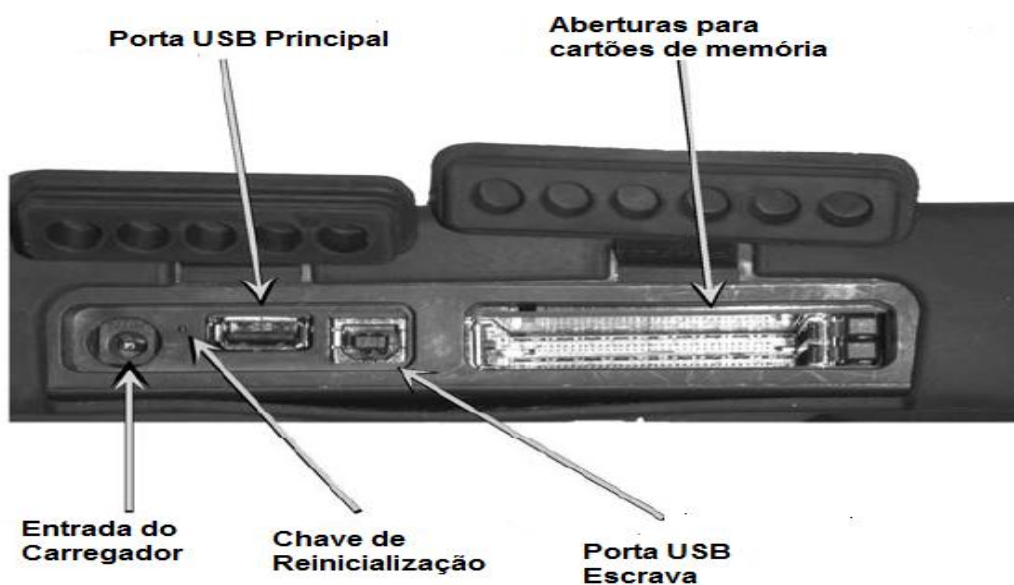


Figura 7 - Painel Inferior
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Entrada do Carregador

Entrada do carregador de bateria/alimentação de energia. Para recarregar a bateria interna do Analisador 2130 conectar aqui o carregador de bateria, que pode ser ligado a uma tomada padrão de 110V ou de 230V.

Chave de Reinicialização

Esta pequena chave entre a entrada do carregador e a porta mestra USB pode ser usada para reiniciar o analisador se ele travar e não responder aos comandos. É necessário algo como um clipe de papel para inserir na abertura e pressionar a chave. Utilizar esta chave somente como o último recurso.

Porta USB Escrava

Use esta porta para conexão ao seu computador para transferir rotas para o Analisador 2130 e para levar dados do analisador para o computador.

Porta USB Principal

Esta porta está reservada para futuros desenvolvimentos.

Aberturas para Cartões de Memória

O Analisador 2130 tem duas aberturas PCMCIA. A abertura superior permite uma diversidade de cartões, tais como, Linear, ATA e *Ethernet*. A abertura inferior permite somente cartões de memória do tipo Linear *Flash* ou SRAM. A função dos cartões de memória Linear *Flash* ou ATA *Flash* é uma memória adicional para informações de rota e de análise. O cartão *Ethernet* serve para comunicação com o computador central.

Os cartões Linear *Flash* com Atributo de Memória não operam em nenhuma abertura. Use somente dispositivos e cartões PCMCIA aprovados pela CSI. Cartões de até 32 megabytes foram testados em uso no campo.

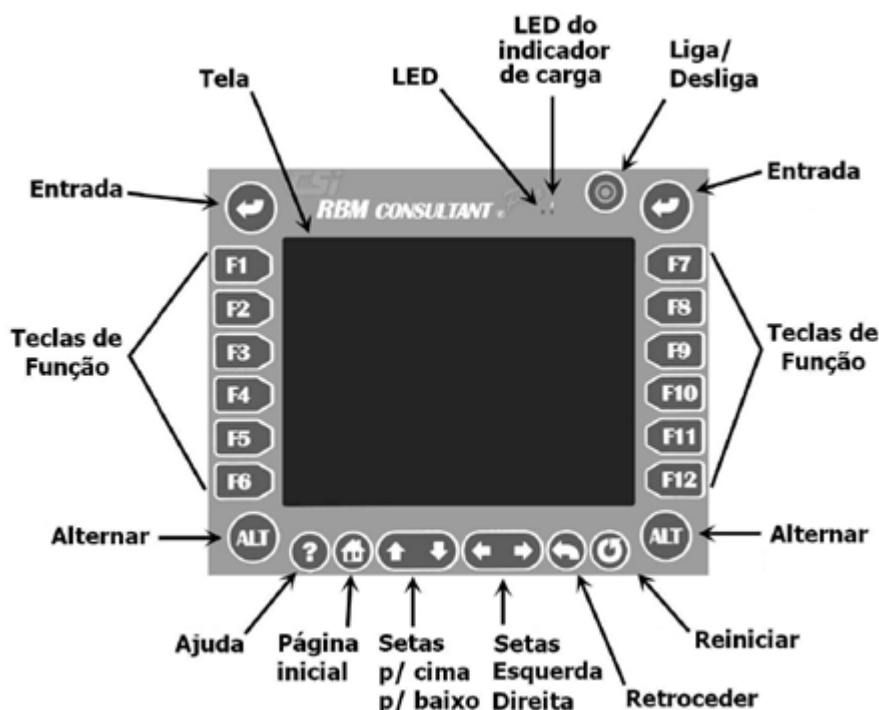


Figura 8 - Porta USB
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Botão Liga/Desliga

Controla a energização/desligamento da alimentação elétrica. Pressionar uma vez para ligar – pressionar novamente para desligar.

LED

O LED (fotodiodo) esquerdo do painel frontal pisca em verde para fornecer a confirmação visual das entradas pelo teclado e alarmes.

LED do indicador de carga

Pisca ou acende em vermelho para indicar o status do carregamento da bateria quando o carregador de bateria está conectado.

Botões de Entrada

Pressionar para salvar suas seleções ou para iniciar a coleta de dados. Usar este botão após ter realizado alterações, tais como a configuração de uma tarefa que você quer salvar na memória do analisador.

Teclas de função F1 a F12

Estas teclas são contextuais, isto é, elas mudam de acordo com as telas selecionadas.

Dependendo do contexto, elas podem ser usadas também para introduzir caracteres alfanuméricos. Para cada tecla podem ser designadas três letras. Para introduzir um caractere, pressionar repetidamente uma tecla pelos caracteres a ela designados (por exemplo D E F 8) até que o caractere desejado seja mostrado.

O cursor avançará automaticamente para o próximo espaço após uma pausa de um segundo. O botão com a seta para a esquerda pode ser usado para recuar o cursor.

Um espaço em branco no campo pode ser introduzido ao se pressionar a tecla de função rotulada “*Space*” – espaço.

Botão ALT (Alternar)

Este botão é para mudar para uma tela alternativa, dando mais opções dentro de um menu.

Nem todas as telas têm uma página alternativa. Para as telas que têm, a abreviatura “ALT” aparece no topo da tela e as caixas de texto nos lados esquerdo e direito da tela são destacadas em amarelo.

Existem dois botões ALT, para operação com a mão esquerda ou com a mão direita. Eles executam a mesma função.

Ajuda (“*Help*”)

Pressionar primeiramente o botão Ajuda e então aperte o botão do recurso para visualizar as informações sobre ele. Algumas mensagens de ajuda contêm mais de uma página de texto. Neste caso, pressione o botão com a seta para baixo para exibir a próxima página do texto e o botão com a seta para cima para exibir a página anterior do texto.

Pressionando novamente o botão de Ajuda (ou o botão de Entrada) a caixa de diálogo de mensagem de ajuda é removida da tela.

Página Inicial (“Home”)

Pressionar este botão para retornar para a página ou tela inicial e para o menu principal.

Botões com as Setas Para Cima/Para Baixo

1) Nas telas de menu, pressionar estes botões para rolar para cima e para baixo dentro de uma tela, para destacar uma seleção ou uma ação.

2) Quando estiver vendo um gráfico, pressionar esta tecla para aumentar/reduzir a escala de ordenadas.

Botões com as Setas Para Esquerda/Direita

1) Nas telas de menu, pressionar estes botões para rolar para a esquerda e para a direita dentro de uma tela para destacar uma seleção ou uma ação.

2) Quando estiver vendo um gráfico, pressionar esta tecla para mover o cursor para a esquerda e para a direita.

Botão Retroceder

Pressionar este botão para retroceder para a tela anterior.

Existem dois Botões de Entrada, para operação com a mão direita ou com a mão esquerda. Eles executam a mesma função.

O menu principal do Analisador 2130 ou o programa Shell tem diversas teclas de função que permitem ao usuário ajustar várias preferências para os parâmetros de coleta de dados no 2130. O menu principal tem as teclas contextuais F2, F4, F5, F6, F7 e F8 ativas para as funções básicas do analisador.

As teclas F7 e F8 são os programas transferíveis de Análise e Rota. As teclas de função em branco superiores a F8 estão reservadas para outras aplicações DLP, à medida que elas se tornem disponíveis. Atualmente são disponíveis aplicações DLP de Alinhamento, Balanceamento, Transiente e Análise Avançada em Dois Canais.

3.1.2 O Analisador VIBXPert II da Pruftechnik:

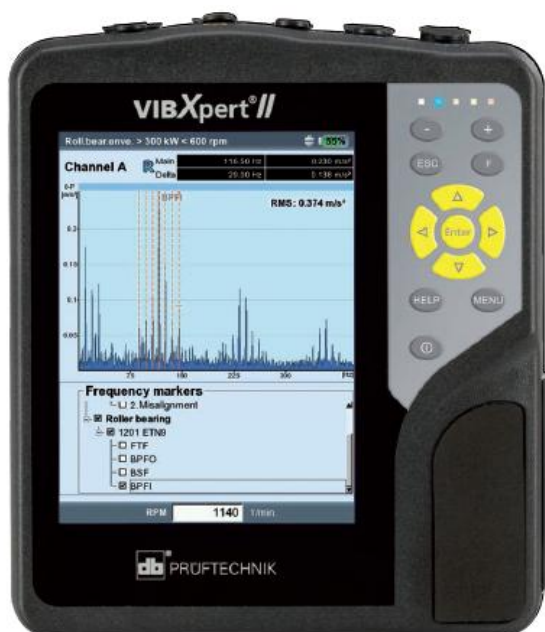


Figura 9 - Analisador VIBXPert II da Pruftechnik
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Um dos diferenciais que mais chamam a atenção no moderno *Vibxpert II* é o fato de possuir tela colorida e ainda autonomia para uso contínuo por longo tempo. Trata-se de um equipamento:

- Intuitivo, com uma operação baseada em gráficos, ícones e interface de cores.
- Rápido, utilizando uma tecnologia de processamento avançada para economizar tempo de medição.
- Ergonômico, pode ser operado apenas com uma das mãos e possui tela colorida.
- Eficaz, executa vários tipos de medições avançadas e baseadas em modelos.

Conexões para ambiente industrial

Cinco conexões de entrada e saída de dados estão disponíveis no *VIBXPert II*, elas são desenvolvidas especialmente para trabalhos em ambiente industrial, todas elas são coloridas para facilitar a identificação de diferentes parâmetros, que podem ser de uma grande variedade de sensores e tipos de *links* para a transmissão de dados.



Figura 10 - Conexões
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

LEDs de status

Alarmes de indicação da condição do equipamento, baseado nos padrões ISO, são mostrados através de leds de cores no momento da medição.

Teclado ergonômico

O teclado pode operado apenas com o polegar direito.

Iluminação automática do teclado para ambientes de baixa luminosidade.

Tela colorida

18-bit TFT LCD

VGA (480 x 640 pixels)

Classificação de proteção IP 65

Grande memória de armazenamento

2 GB Cartão *CompactFlash*

Bateria de Íon-Lítio (Alta autonomia)

8 horas de operação contínua

Versátil

Rotas baseadas em orientação gráfica.

Diagnóstico de Vibrações

Balanceamento de campo com um ou dois planos.

Medições podem ser baseadas em padrões de máquinas pré-definidos.

Identificação e solução de problemas

Medidor multiparâmetro

Registro e armazenamento dos dados

Registro e armazenamento de detalhes de inspeção visual

Análises e ferramentas

Níveis globais e parâmetros de processo

Espectros de velocidade e aceleração

Sinal de onda no tempo

Envelope de espectro

Cepstro

Fase, fase de canal cruzado

Órbita

Análise de condição de eixos

Análise de *Runout* (medição em eixos)

Bump test

Coast-down/run-up test

Análise de ordem

Análise modal

Análise de Deflexão Operacional - Operating

Deflection Shape analysis (ODS)

Análise de Transientes

Gravação de sinais

Frequências de falhas

Pós-processamento de sinal

Avaliação automática pelos padrões ISO

Características Adicionais

Impressão de relatórios de medição.

Console robusto e resistente a impactos.

Acessórios para aquisição de diferentes tipos de dados.

Módulos de medições opcionais que podem ser ativados com a ativação de chaves de registros.

3.2 O SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO ON-LINE: VIBNODE

Este sistema monitora continuamente a vibração dos equipamentos através dos sensores de vibração (acelerômetros, proximetros) que, enviam os dados para o

Vibnode, equipamento que realiza o tratamento do sinal, e envia os dados para o PLC que faz a definição de níveis de alarme e interlock de equipamentos caso necessários.



Figura 11 - Conexões
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

O monitor eletrônico de vibração *Vibnode*, monitora *online* o estado vibracional total de máquinas e sistemas, é uma técnica de processamento de sinais que permite uma medição precisa da energia gerada por impactos mecânicos ou transientes. Esses módulos são ideais para monitoração de motores, bombas, ventiladores e caixas de engrenagens com mancais de elementos giratórios nos quais a proteção contínua em tempo real é necessária.

Número de Canais VIBNODE

Na opção básica possui 6 Canais.

Na opção avançada possui 12 Canais.

Tipos de Máquinas

Ideal para equipamento com velocidade e carga constante

Opcional Wireless?

Sim

Tipos de Medições

Nível global (Velocidade\Aceleração\Deslocamento)

Espectros de Velocidade e Aceleração

Envelope de Espectro

Parâmetros de Processo (Temperatura \ RPM \ Vazão)

Saídas Analógicas \ Saídas Digitais

2 Saídas Analógicas

2 Entradas Digitais

2 Saídas Digitais

Supervisório do sistema pode ser instalado facilmente em salas de controle e operação da planta.

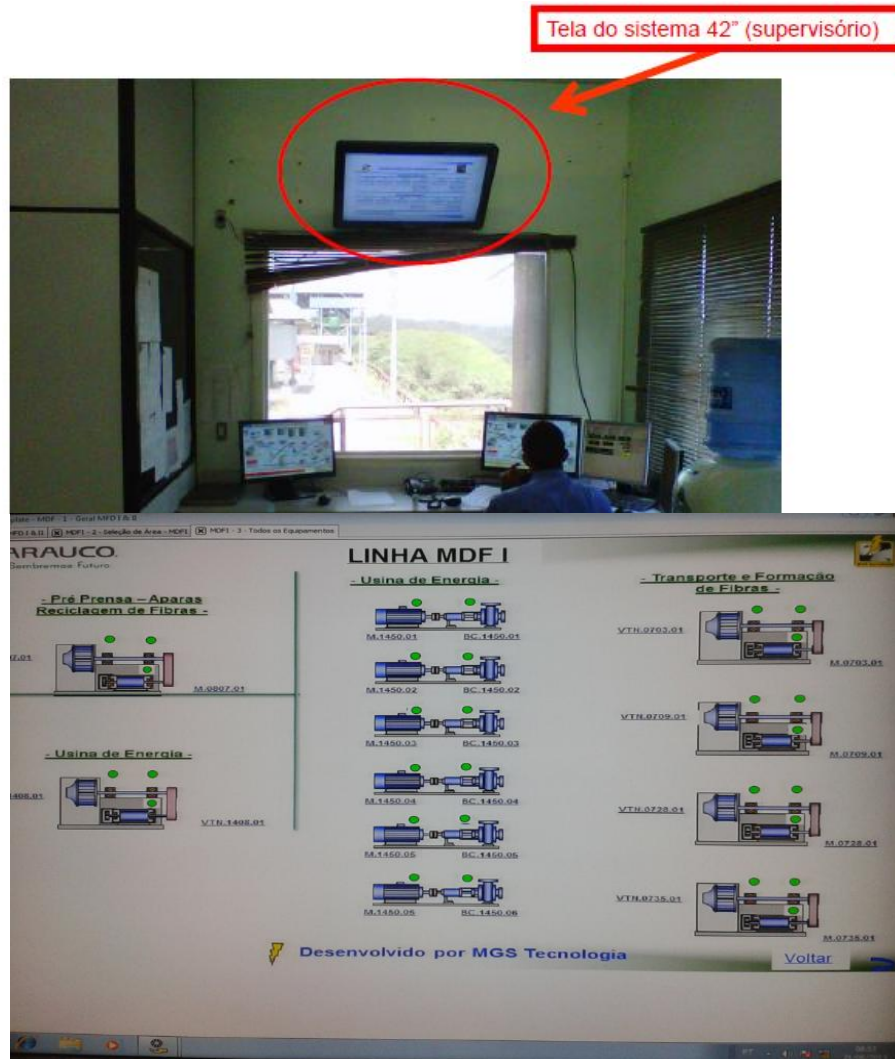


Figura 12 - Tela Supervisório
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Tela de supervisão de dados de vibração da empresa modelo, onde é possível monitorar a condição dos níveis de vibração de todo o sistema.

Exemplificação do método de atuação no processo com a utilização de sistema de monitoramento on-line:

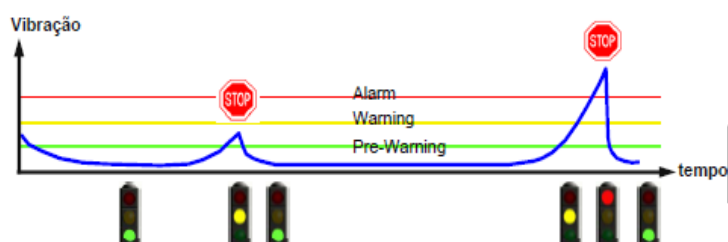
Manutenção baseada no tempo ou falha



Duas situações, uma mesma pergunta:

Qual o custo de cada uma dessas paradas em R\$?

Manutenção baseada na condição (com sistema On-line)



Qual o custo de cada uma dessas paradas em R\$?

Figura 13 - Exemplificação
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Sistema On-line “uma tendência de mercado”

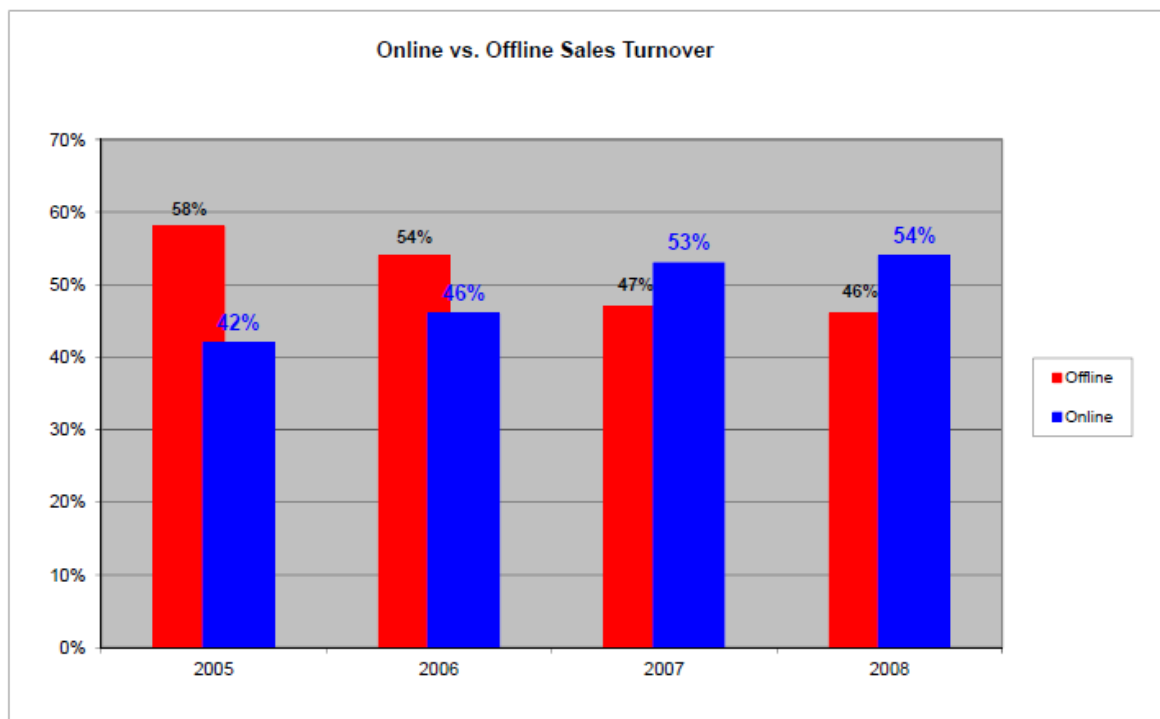


Figura 14 - Supervisório no Mercado
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Sistema On-line: Utilizado na empresa modelo.

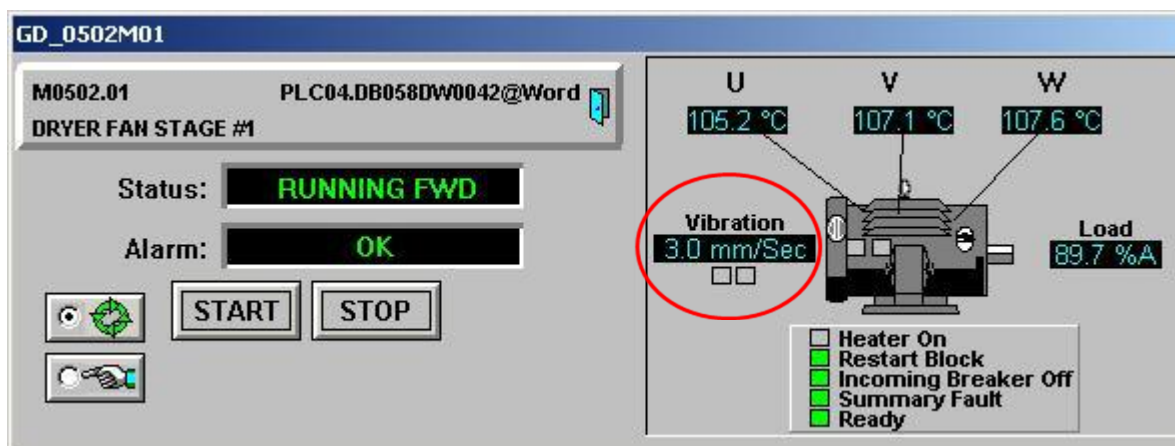


Figura 15 - Pop up controle de Motor
Fonte: Estudo de caso (2013)

Unidades de monitoramento on-line proporcionam uma coleta de dados automatizada e contínua e uma poderosa gama de ferramentas de análise para aperfeiçoar os esforços de monitoramento de condições. Quando uma máquina começa a desenvolver um problema, o sistema ajuda a detectar, analisar e rastrear o defeito, para que os custos de manutenção sejam minimizados.

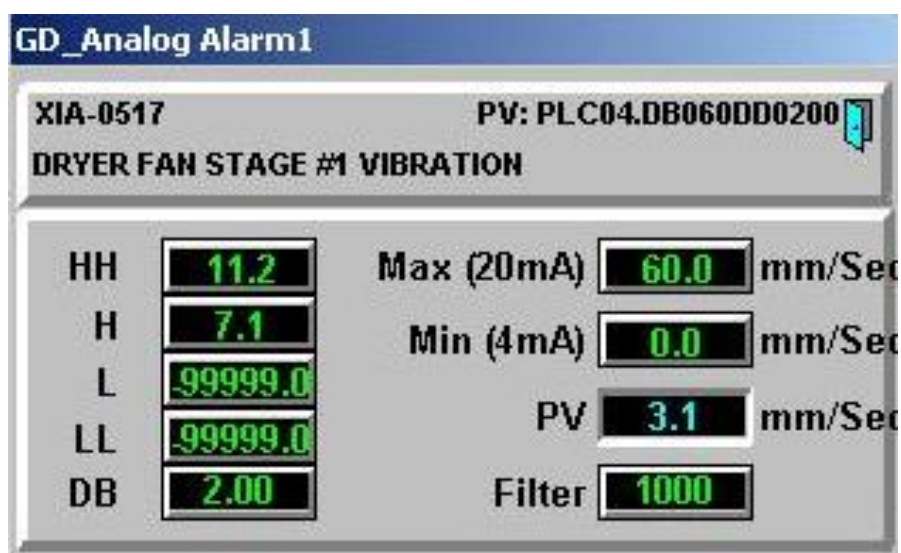


Figura 16 - Pop up controle de Motor 2
Fonte: Estudo de caso (2013)

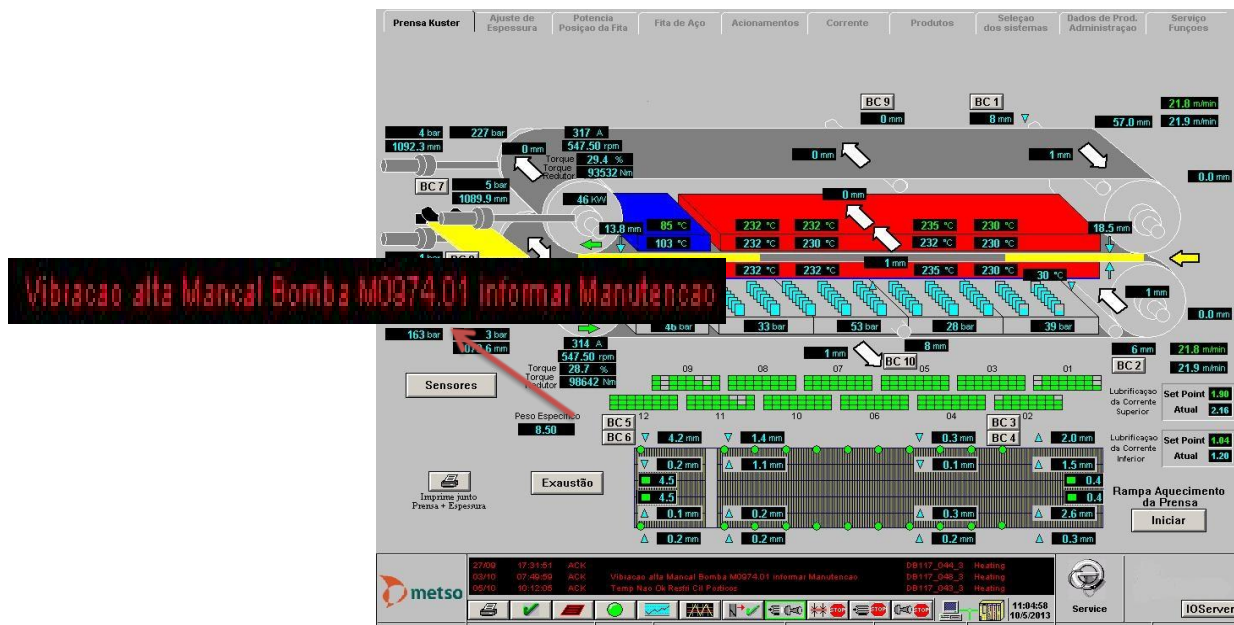


Figura 17 - Sistema Supervisório In Touch
Fonte: Estudo de caso (2013)

Um recurso "ao vivo" permite uma análise on-line detalhada, enquanto registros de eventos proporcionam um histórico de eventos que possam ter ocorrido enquanto o sistema estava sem supervisão.

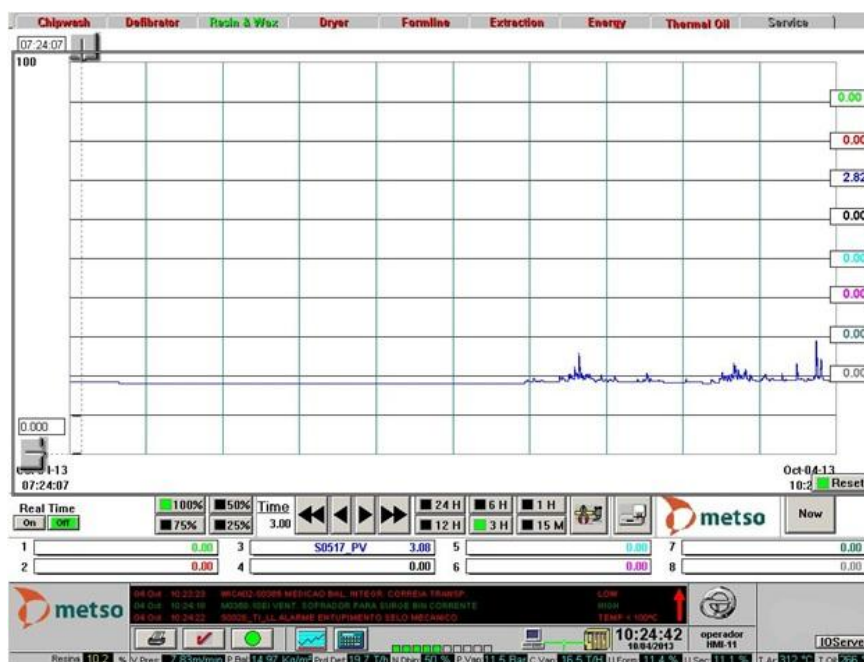


Figura 18 - Histórico Trend
Fonte: Estudo de caso (2013)

O Software dos sistemas de monitoramento de vibração *off-line* e *on-line*:

OMNITREND® Multi-usuários PC Software

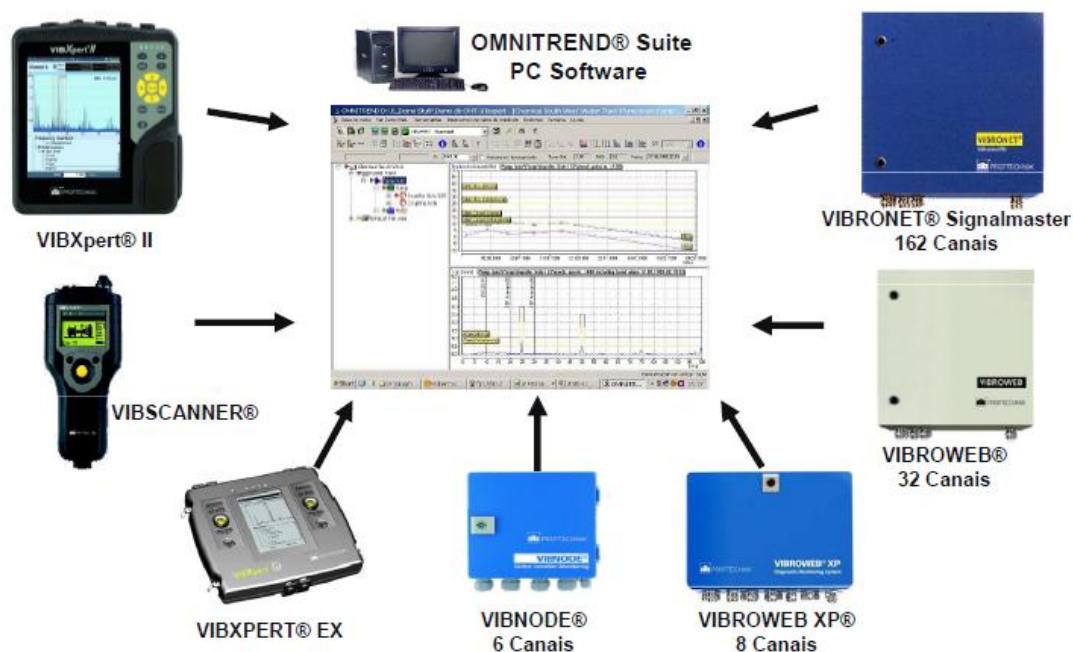


Figura 19 - OMNITREND® Multi-usuários PC Software
 Fonte: MGS Tecnologia (2013)

OMNITREND® pode ser utilizado para gerenciar dados de máquinas, arquivos referentes à históricos de manutenção e controlar rotas de medição em uma planta industrial.

Um amplo campo de aplicação envolve o *software*, bem como armazenamento de documentações referentes às máquinas monitoradas e relatórios especiais que podem ser impressos automaticamente.

Informações mais detalhadas podem ser visualizadas no descritivo de apresentação do folheto do OMNITREND®.

Módulo de Transposição dos Dados Omnitrend para o MAXIMOS

A *Pruftechnik_CM* fornece suporte à utilização de sistemas de identificação de falhas, através de análise de vibração.

Todos os dados podem ser exportados automaticamente para programadas de manutenção como o SAP, MAXIMOS, SIGMA e outros que trabalham com importações por tabelas.

Entre as comuns utilizações mais comuns, estão exportações de níveis de vibração e temperatura para cada mancal, automaticamente, evitando perda de tempo de digitação nos sistemas de gerenciamento de manutenção.

Vários parâmetros em um único *software*:



Figura 20 - OMNITREND® PC Software 2
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

A empresa modelo realiza o controle das variáveis coletadas em campo com a utilização do *software* gerenciador Omnitrend e por um servidor onde encontra-se o banco de dados, neste banco de dados são inseridos as informações necessárias (*setup*) do equipamento a ser coletado. Depois de criado o *setup* o equipamento está pronto para ser monitorado, porém, antes de coletar é necessário “criar” as rotas, ou seja, determinar qual o melhor caminho e quais equipamentos se quer coletar em campo nesta rota (é utilizado os setores do processo para determinar quais equipamentos estarão nas rotas), então se carrega as rotas para o coletor e procede a coleta após o termino da coleta é descarregado as dados para o sistema que pode ser analisados na tela do monitor. Sendo assim no caso este *software* é o OMNITREND.

A periodicidade de coleta de dados entre os diversos pontos de medição, como regra geral é mensal, salvo quando o equipamento está em acompanhamento, podendo ser diário, semanal, quinzenal, etc.

Os valores descarregados para o *software* são analisados no computador: equipamento por equipamento, analisado os espectros de frequências para identificar quais os componentes apresentam defeitos e que podem gerar possíveis falhas em futuro próximo, desta forma é possível detectar com o máximo de antecedência, porem alguns módulos potenciais de falhas acabam saindo do controle, além também das tendências onde são analisados os valores globais e suas evoluções, com base nas coletas feitas por um período, são possíveis determinar os níveis de alarmes que auxilia nas analise.

Nos espectro também são inseridos “alarmes de bandas” que vem a ser o alarme de uma determinada frequência conhecida de um determinado componente, se está frequência apresentar evolução e passar o nível de alarme ele gera um alerta visual na tela do computador.

Quando detectado uma anomalia, é aberta uma nota no sistema ERP utilizado na empresa, sendo no caso o SAP e em alguns casos onde o equipamento em questão é critico, é então gerado um relatório padrão preditiva.

3.3 O SISTEMA SAP

Utilizado pela empresa modelo a cerca desde 2011.A sigla significa *System, Applications and Products* (Sistema, Aplicações e Produtos).

É um Sistema de Gestão Empresarial criada por uma empresa alemã, de mesmo nome. É um poderoso sistema de gerenciamento de dados que integra as diversas áreas da organização e controla os processos de uma empresa.

Quais as vantagens:

- Visibilidade em tempo real da situação da empresa.
- Integração da cadeia de fornecimento.
- Levar produtos ao mercado mais rapidamente.
- Eliminar a duplicação de esforços.

Alguns tipos de SAP:

- *SAP Business Suite*
- *SAP Customer Relationship Management*
- *SAP Enterprise Resource Planning*
- *SAP Product Lifecycle Management*

- SAP *Suply Chain Management*
- SAP *Suplier Relationship Management*

SAP ERP (*Enterprise Resource Planning*)

- Possibilita criar estratégias e operações mais alinhadas
- Adaptar-se rapidamente às exigências de um mercado em transformação
- Pontos Fracos
- Existem poucas pessoas qualificadas para trabalhar com o SAP
- O custo para conseguir a certificação é alto
- A linguagem do programa é bem específica, o que dificulta o seu manuseio.

O sensor detector de vibração para os sistemas de monitoramento de vibração *off-line* e *on-line*:

3.3.1 Sensores de Vibração:



Figura 21 - Sensores de Vibração
Fonte: SKF (2013)

Para a captação de vibrações, são utilizados sensores a que se dá o nome de transdutores de vibração mecânica. Existem vários tipos de sensores, sendo o acelerômetro o mais utilizado devido à sua enorme versatilidade, enquanto outros sensores se resumem a aplicações muito específicas. O sensor de deslocamento aplica-se no caso de ser uma instalação permanente, enquanto o sensor de velocidade é de aplicação mais restrita devido ao seu peso e fragilidade de

componentes internos. Apesar de só possibilitar a recolha de frequências entre 10 e 1000 Hz, apresenta como grande vantagem o fato de ser auto-gerador, o que permite enviar o sinal elétrico a grandes distâncias por cabo, permitindo trabalhar a altas temperaturas. Antes de se efetuar qualquer análise, a vibração tem de ser convertida num sinal elétrico, sendo essa tarefa desempenhada pelos transdutores. Estes convertem uma forma de energia (sinal vibratório mecânico existente na superfície da máquina), noutra forma de energia, normalmente em sinais elétricos características da vibração do equipamento, cuja forma de onda está relacionada com o movimento mecânico.

A relação entre a forma de onda mecânica e a forma da onda elétrica, depende do tipo de transdutor utilizado na transformação de sinal e no tipo de tratamento dado a esse sinal pelo aparelho analisador. A complexidade da instrumentação de medida e as técnicas de análise podem variar substancialmente, mas em todos os casos, o transdutor de vibrações é o ponto mais crítico na cadeia de medição, porque sem um sinal rigoroso os resultados da análise não serão fiáveis. Os transdutores são colocados em diversos pontos da máquina, para recolhas nas direções radial e axial, podem ser utilizados de várias formas, através de base ponteira, base magnética, base roscada ou colada para um controlo permanente.

3.3.2 Acelerômetro

É o tipo de sensor utilizado para a medição de vibrações na carcaça do mancal. São de melhor resposta para mancais de rolamento. Também chamado de medição das vibrações absolutas.

O princípio de funcionamento do transdutor de aceleração baseia-se nos cristais piezo elétricos, que depois de sujeitos à compressão, geram um pequeno sinal elétrico proporcional à aceleração. Quando se encontra em funcionamento, o transdutor acompanha a vibração transmitida pelo equipamento em estudo, a massa no interior do transdutor tende a manter-se estacionária no espaço.

Um transdutor sensível à aceleração denomina-se por acelerômetro, e, é fixado em uma superfície em movimento, onde haverá um deslocamento provocado pela força motriz que dá origem ao movimento.

Esta força é igual ao produto da aceleração com a massa sísmica.

O tamanho do acelerômetro (massa sísmica) vai influenciar a gama de frequências utilizável e a sua sensibilidade. Regra geral, quanto maior for o acelerômetro, maior a sua sensibilidade e menor a gama de frequência máxima utilizável.

O intervalo de frequência em que os acelerômetros trabalham situa-se abaixo da sua primeira frequência natural. A sua sensibilidade é medida em milivolts por unidade de aceleração “g” e é aproximadamente constante até 1/5 da frequência de ressonância. Por esse motivo, é aconselhável o uso do acelerômetro até este limite superior de frequência.

Acelerômetro: Vantagem na utilização

- Vasta gama de frequências utilizável 1 a 10 000 Hz, logo superior a qualquer dos transdutores citados anteriormente.
- Existem modelos de acelerômetros que podem medir baixas frequências na ordem dos 0,02 Hz;
- Fáceis de instalar e no geral são menores e leves do que os anteriores;
- São muito robustos e estanques, pelo que se tornam especialmente apropriados para trabalhar em locais fabris;
- Resistem ao choque, quedas, umidade, poeiras, óleo e outras agressividades ambientais e de manuseamento;
- Pouco sensíveis a vibrações laterais, transversais e a campos magnéticos. São, por isso, bons na aplicação a grandes motores elétricos.
-

Acelerômetro: Constituição

O coração de um acelerômetro é seu elemento piezo elétrico, que tem a propriedade de produzir uma descarga elétrica que é proporcional à tensão e consequentemente a força aplicada.

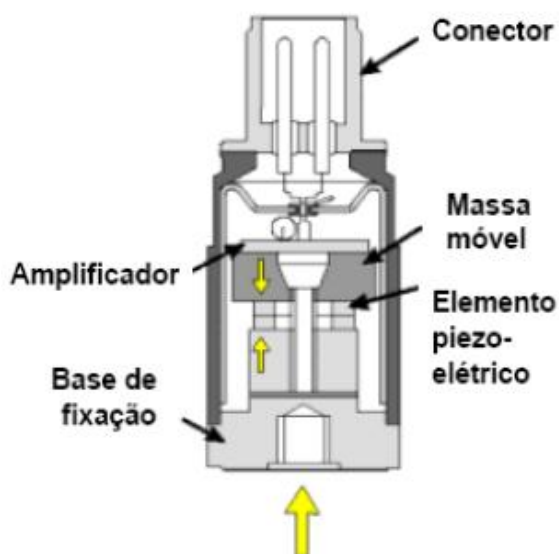


Figura 22 - Acelerômetro
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Acelerômetro: Montagem

O modo de fixação do acelerômetro na estrutura tem uma influência considerável da resposta do sensor: Quanto mais rígida for a fixação, melhor será a resposta em alta frequência.

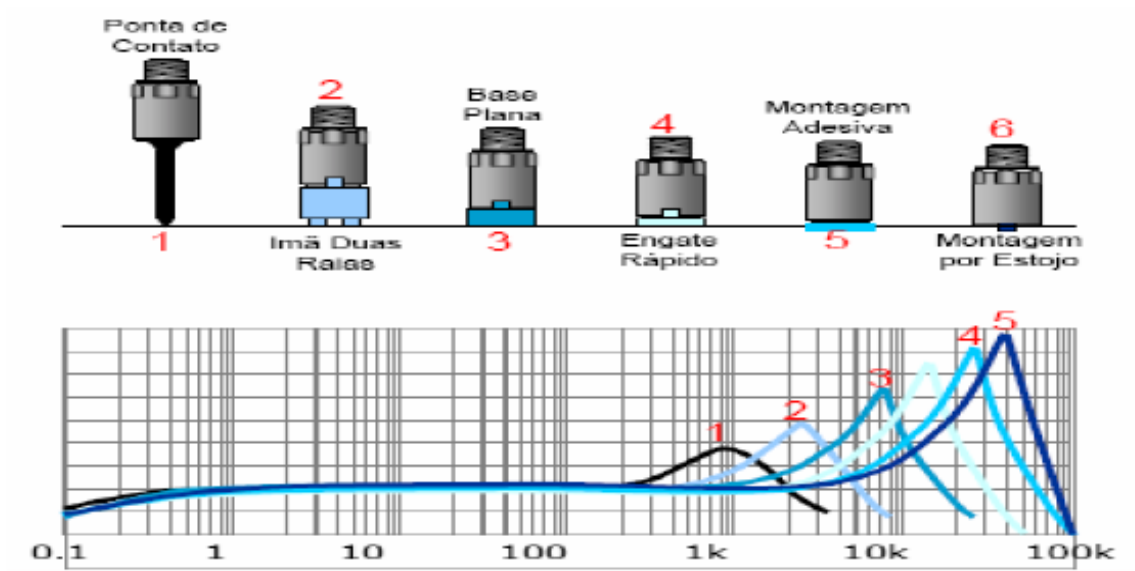


Figura 23 - Montagem
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Acelerômetro: Aplicação Real em Campo



Figura 24 - Acelerômetro
Fonte: Estudo de caso (2013)

O transdutor normalmente utilizado na captação de uma vibração é o acelerômetro piezoelétrico, que possui boa linearidade e uma banda dinâmica maior em comparação a outros acelerômetros. Os acelerômetros piezoelétricos não necessitam de fonte de alimentação, ou seja, o sinal de saída pode ser conectado diretamente ao medidor de vibrações. Além disso, não possuem partes móveis e geram um sinal proporcional à aceleração, que pode ser integrado, obtendo-se a velocidade e o deslocamento do sinal (FERNANDES, 2000).

3.3.3 Proxímetros

É o tipo de sensor utilizado para a medição do deslocamento relativo entre a extremidade do sensor e o eixo rotativo, ou outro corpo. São de melhor resposta para mancais de casquilhos (deslizantes).

Também chamado de medição das vibrações relativas.

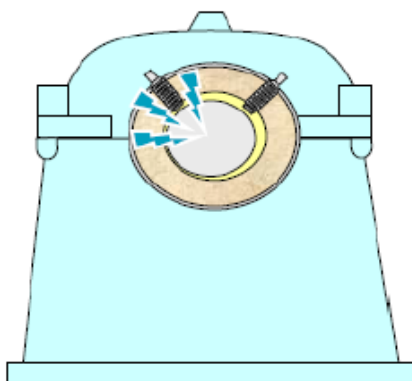


Figura 25 - Proxímetro
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

3.3.4 Os pontos de medições:

O ponto de medições para se realizar a coleta dos equipamentos são diretamente nos mancais, pois é no rolamento onde se concentra toda a força de desequilíbrio causadora das vibrações.

A recomendação para coleta de dados em equipamentos industriais é efetuar medições nas direções horizontais, verticais e axiais.

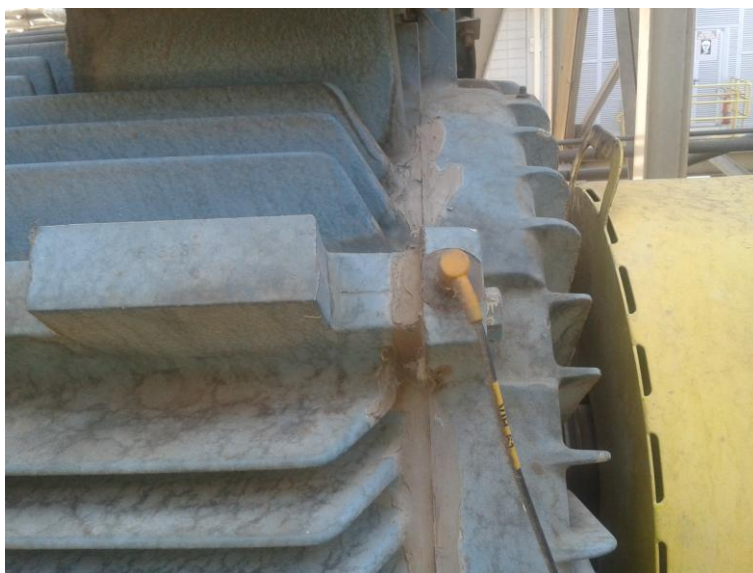


Figura 26 – Ponto de medição
Fonte: Estudo de caso (2013)

A escolha dos pontos de leitura para a recolha dos sinais vibratórios deve ser cuidadosamente estudada, tendo em conta a sua acessibilidade e características dos equipamentos, a fim de se evitarem possíveis erros de leitura, como por

exemplo descontinuidades do material entre o ponto de leitura e a fonte das vibrações.

Para a análise da condição de funcionamento de qualquer equipamento, devem ser medidas e registradas as vibrações em cada uma das extremidades ou apoios. Nas três direções do espaço; vertical, horizontal e axial, assim como a codificação de vários pontos de leitura.

Existem vários tipos de montagem, tais como:

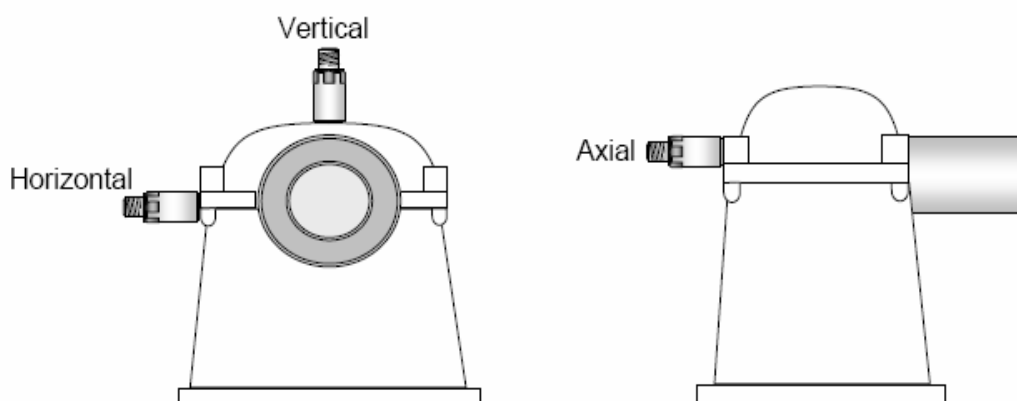
- Fixação aparafusada;
- Fixação por colagem com discos próprios;
- Fixação por base magnética;
- Utilização de ponteira.

A instalação do acelerômetro aparafusado é a melhor solução, mas nem sempre é possível este tipo de colocação devido a dificuldade em se chegar aos pontos de leitura.



Figura 27 – Ponto de medição
Fonte: Estudo de caso (2013)

Direção dos pontos de medição para um acelerômetro



Medições Radiais – Posição Horizontal e Posição Vertical

Figura 28 – Proxímetro 2
Fonte: MGS Tecnologia (2013)

Seleção e utilização de sensores de medição

O principal objetivo na seleção do sensor é assegurar antecipadamente que o sinal da vibração está dentro de vários constrangimentos.

Os sensores para altas temperaturas não incorporam o amplificador, ficando este ligado a um cabo especial já fora da zona de elevadas temperaturas.

Para a seleção dos transdutores é necessário conhecer:

- Gama de utilização;
- Sensibilidade;
- Frequência (ou tempo de resposta);
- Compatibilidade com o meio ambiente;
- Precisão;
- Características elétricas;
- Condições de aplicação e robustez.

Tabela 1 - Custo Médio de Equipamentos de Análise de Vibração

CMXA 70-9-K-SL	Coletor de Dados	R\$ 56.200,09	Imediato salvo venda Prévia
CMXA 70-9-K-SL	Coletor de Dados	R\$ 47.866,59	Imediato salvo venda Prévia
CMAC 5030K	Kit de balanceamento à laser	R\$ 5.890,66	Imediato salvo venda Prévia
CMMA320-05-3.32	Atualização de Firmware das LMU	R\$ 2.630,00	45 a 60 dias após pedido
CMCP500-BR	Cabo LAN-500m	R\$ 12.300,00	46 a 60 dias após pedido

Fonte: Estudo de caso (2013)

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A aplicação da análise de vibração no diagnóstico de defeitos em máquinas rotativas é uma técnica já aprovada, há várias décadas, em todo o mundo e nos mais diversos ramos industriais. Na última década, com a evolução tecnológica da informática e eletrônica permitiu-se o desenvolvimento de equipamentos portáteis para a medição, análise e gerenciamento de um grande volume de dados de vibração de máquinas. Esta nova tecnologia permitiu a disseminação e deu sustentação a uma nova prática de manutenção: a Manutenção Preditiva.

Com relação à equipe própria com equipamentos próprios, constatam-se as vantagens quanto ao custo, uma vez que se mostra para uma empresa de grande porte ser mais barato manter uma equipe do que contratar uma empresa terceira. Outro detalhe é que mantendo pessoal próprio significa ter um técnico de preditiva em tempo integral para a planta o que pode não ocorrer quando isso é feito por uma contratada.

Outro fator que em muitos casos é determinante é o fato que quando a preditiva é terceirizada não se tem a mesma dedicação de um profissional direto, a rotatividade é muito grande o que acaba prejudicando em relação ao conhecimento dos equipamentos.

Em princípio cogitava-se usar o sistema de análise de vibração utilizada pela empresa modelo como exemplo para todas as empresas, porém no decorrer desta pesquisa foi identificado que para uma empresa de pequeno porte torna-se inviável manter um técnico de preditiva, pois, o investimento é cerca de R\$4.000,00/mês por técnico empregado, além do investimento inicial. Sendo assim, contratar uma empresa que faça as coleta de dados e envie relatórios seria o ideal, devido ao custo para manter tais profissionais e equipamentos efetivos na empresa, pois uma empresa terceirizada cobraria a média de R\$5.000,00/mês fornecendo o serviço com 2 funcionários em 3 dias a cada 2 meses. Cada caso deve ser estudado isoladamente, tudo dependerá do valor em caixa disponível para manutenção de casa empresa. Por isso em muitas empresas acaba sendo usada a manutenção corretiva em grande escala, pois terceirizar o serviço pode ser barato, porém a qualidade e o retorno dos resultados nem sempre é tão rápido, e essa diferença de tempo pode ser o suficiente para ocorrer uma falha.

Hoje nessa indústria de MDF usada como modelo são monitorados *on-line* aproximadamente 114 pontos e *off-line* aproximadamente 338 locais de instalação o que dá um número de equipamentos próximo de 680 equipamentos com um número médio de 2 pontos por equipamento isso oferece algo em torno de 1360 pontos monitorados mensalmente, somado *off-line* mais *on-line* são monitorada uma média de 1474 pontos.

Em uma breve pesquisa no mercado obteve-se valores médios de U\$8,00 (dólares) por ponto o que chega a U\$12.529,00 ou R\$31.000,00 mensais, valores estes somente para análise de vibração coletando dois ou três dias no mês e enviando relatório, além da dificuldade de se encontrar no mercado uma empresa que coloque alguém em tempo integral por este valor, pois, para isso a média aumenta para de R\$65.000,00 a R\$90.000,00, o que se torna inviável se considerar a folha de preditiva da empresa modelo que é de aproximadamente R\$12.000,00 por mês.

Lembrando ainda que a equipe preditiva da empresa modelo realiza outras atividades de manutenção preditiva como: alinhamento, balanceamento, lâmpada estroboscópio, análise termográfica de equipamentos e a gestão da análise de óleo, o que com certeza vai encarecer ainda mais os valores para uma possível terceirização.

4.1 A TERCEIRIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Em empresas de pequeno porte, onde se constatou não ser viável manter uma equipe própria é indispensável obter um bom plano de manutenção que permita reduzir custos, reduzir as paradas não programadas de máquinas e aumentar a produtividade, utilizando parcerias com empresas de prestação serviço de análise de vibração terceirizada.

Entretanto é necessário se considerarem alguns quesitos, antes de fechar um contrato de terceirização. Na sequência descreve-se alguns cuidados que as empresas de pequeno porte devem tomar ao contratar serviços de preditiva:

- Quem é a empresa prestadora do serviço? Conhecer outros clientes onde ela já preste serviços, e ouvir a opinião desses clientes.

- Qual a tecnologia utilizada (ferramentas/equipamentos)? Saber a plataforma de trabalho do prestador é de fundamental importância, bem como conhecer sua política de qualidade quanto à manutenção dos equipamentos, calibração etc.
- Quem é o técnico que vai atender sua empresa? Prestadores de serviço costumam manter um corpo técnico qualificado, mas essa regra tem exceções. Muitas vezes para reduzir custos, as terceirizadas contratam estagiários sem nenhuma experiência, e vale lembrar que mesmo as coletas de dados, são atividades que embora pareçam simples, são de suma importância para o sucesso do trabalho.
- Como serão medidos os resultados? Estabelecer formas concretas de mensurar se “está valendo a pena ou não” afinal, a Manutenção Preditiva tem por objetivo reduzir custos.
- Prazos. Quanto tempo após as medições será emitido o relatório? Nem sempre agilidade na entrega e confiabilidade do resultado, andam juntos. Porém se o prestador demorar 15 dias para entregar um laudo, talvez um equipamento que estava em estado crítico, já tenha quebrado.
- Quanto custa? Desconfiar de preços muito baixos. Talvez o preço seja proporcional à qualidade do trabalho prestado.
- Como será entregue o relatório? O ideal, é que a entrega seja acompanhada de uma reunião onde se discute caso a caso as máquinas sinalizadas como críticas, e sejam definidas estratégias de intervenção.
- Limite de responsabilidades. A ser acordado no ato da contratação, é importante definir as responsabilidades de cada uma das partes, especialmente se algo der errado.

Segurança no trabalho. Acidentes com o pessoal da empresa terceirizada, dentro da planta, podem trazer-lhe dores de cabeça. Em contrapartida, a contratante precisa garantir condições seguras de trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o advento da informática, os equipamentos de análise, medição e controle de vibrações mecânicas, assim como seus respectivos *softwares* estão cada vez mais acessíveis para as empresas, levando-se em conta a necessidade das mesmas e o custo-benefício de tais equipamentos.

Conclui-se que para empresas de grande porte como a indústria de MDF modelo para nosso estudo, manter uma equipe interna de manutenção preditiva e, investir em equipamentos para coleta, análise e gerenciamento de vibração *off-line*, assim como equipamentos de monitoramento contínuo *on-line*, é de grande viabilidade para se tornar competitiva no mercado, garantindo fatores como alto índice de disponibilidade e qualidade do produto, assim como redução de gastos e aumento da lucratividade.

Porém, em indústrias de pequeno porte a terceirização da manutenção preditiva torna-se uma tendência devido ao custo para se manter uma equipe de manutenção preditiva própria com os equipamentos necessários, basicamente consiste em repassar suas “tarefas secundárias” para empresas especializadas, para poder realizar melhor sua atividade principal.

Uma segunda alternativa para empresas de pequeno porte seria investir em equipamentos mais simples, também disponíveis no mercado que ofereçam as condições básicas para coleta de dados de vibração, além de capacitar seus técnicos com treinamentos específicos para a coleta, análise e controle de vibrações, treinamentos estes, muitas vezes oferecidos pelos próprios fornecedores de equipamentos, sendo assim iniciar um departamento interno de preditiva gradativamente.

REFERÊNCIAS

ABREU, R.D.A.J N disponível em: <[http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS / article/downloadSuppFile](http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/downloadSuppFile) >. Acesso em: 25 jul.2013

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Vibrações mecânicas para engenheiros**. São Paulo: Edgar Blucher, 1990.

BALACHANDRAN, Balakumar. **Vibrações mecânicas**. São Paulo: Cengage, 2011.

FERNANDES, J. disponível em <<http://www.feb.unesp.br/jcandido/vib/index.htm>>. Acesso em: 13.agos.2013.

GONÇALVES,Elias. disponível em <<http://www.mecanica.ufu.br/sites/mecanica.ufu.br/Anexos/Bookpage/Semec201SEMEC.pdf>>. Acesso em: 13.agos.2013.

HUSTUN, Elaine; LIU, Denise disponível em <<http://www.class.uh.edu /Faculty/emliu/index.html>>. Acesso em: 20.mai.2013

MIRSHAWKA, Victor, **Aplicações de pesquisa operacional** v.2.São Paulo:Nobel, 1981.

MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão L, **Manutenção**. São Paulo: Makron-Books, 1993.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de manutenção preditiva** v.1.São Paulo: Edgar Blucher, 1989.

SPECTRUM PREDITIVA,disponível em: <http://spectrumpredictiva.com.br/index_arquivos/implantacaopredictiva.htm>. Acesso em: 15.maio.2013

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

RANGEL, Rozales disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ ABAAAA zU8 Al/medida-vibracao- preditiva> >. Acesso em: 15 mai.2013

MGS TECNOLOGIA disponível em: <<http://www.mgstecnologia.com.br/>>. Acesso em 15.maio.2013

WANG; WILLIANG disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABQZI AJ/analises-mecanicas?part=6>> Acesso em 26.set.2013

WOYCIECHOWSKI,Neto disponível em <<http://www.projetostecnologicos.com/Cursos/Telecomunicacoes/AM/AM>> Acesso em 26.set.2013