

WAGNER SUSSUMU FUKAZAWA

MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
MANUTENÇÃO PREDITIVA - ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

aprovada
[Signature]

São Paulo

1997

fev. 75%
not 7,0
set.
28abr 98
atualizada e
corrigida
em folha
[Signature]

WAGNER SUSSUMU FUKAZAWA

MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
MANUTENÇÃO PREDITIVA - ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Profº João Paulo Marcicano

São Paulo
1997

**Este trabalho é dedicado
à minha mãe.**

Agradecimentos

Ao Prof^o João Paulo Marcicano pela orientação, ajuda e interesse no desenvolvimento deste trabalho de formatura.

À Sérgio Kimimassa Nagao, Assessor de Manutenção Industrial da Rhodia S.A., pelo total apoio e incentivo sempre na busca do melhor.

Aos colegas José Wagner Tosin e Glauco Helber Muneratto da Fairway-Santo André, Marcio Roberto Bellotti da Usina Química de Santo André e José Roberto R. Rebello da Usina Química de Paulínia, sinceros agradecimentos pela cooperação e total disponibilidade no auxílio para a resolução de quaisquer dúvidas ou problemas.

À minha namorada Flávia, pelo constante apoio dado.

À minha família, minha mãe Tieco, minha avó Aiko e minha irmã Mônica, sem as quais jamais teria condições de chegar no lugar em que estou hoje.

E a todos que me ajudaram e me incentivaram no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Sumário

Lista de Figuras	
Lista de Gráficos	
Lista de Tabelas	
Resumo	
“Abstract”	

1. Introdução	1
1.1. A Empresa	1
1.1.1. Fibras e Polímeros	1
1.1.2. Química	3
1.1.3. Saúde Humana	3
1.1.4. Saúde Veterinária e Nutrição Animal	4
1.1.5. Produção Agrícola	4
1.2. A Gerência Tecnologia Industriais	4
1.3. Objetivo e Escopo do Trabalho	5
2. Manutenção Industrial	7
2.1. Introdução	7
2.2. A História da Manutenção	7
2.3. Sistemas de Manutenção	9
2.3.1. Manutenção Corretiva ou Acidental	9
2.3.2. Manutenção Preventiva Sistemática	10
2.3.3. Manutenção Preditiva ou Preventiva Sob Condição	11
2.3.3.1. Análise de Vibrações	11
2.3.3.2. Análise de Óleos Lubrificantes	12
2.3.3.2.1. Inspeções Sensoriais	13
2.3.3.2.2. Ensaios Físicos e Químicos	13
2.3.3.2.3. Espectrografia de Emissão	14
2.3.3.2.4. Análise de Infra-Vermelho	14
2.3.3.2.5. Índice de Neutralização	14
2.3.3.2.6. Contagem de Partículas	15
2.3.3.3. Preditiva em Motores Elétricos	15
2.3.3.3.1. Introdução	15
2.3.3.3.2. Análise Espectral	16
2.3.3.3.3. Análise de Campo Eletromagnético Perdido	17
2.3.3.3.4. Flutuação de Velocidade de Rotação	17
2.3.3.3.5. Sensores de Temperatura	17
2.3.3.3.6. Surge Test	17

2.3.3.4. Termografia	18
2.3.3.4.1. O Princípio da Termografia	18
2.3.3.4.2. Histórico dos Equipamentos	18
2.3.3.4.3. Principais Áreas de Monitoramento	19
3. Manutenção Preditiva-Análise de Vibrações	20
3.1. Vibração - Quantificação dos Níveis de Vibração	20
3.1.1. Valor de Pico a Pico	20
3.1.2. Valor de Pico	21
3.1.3. Valor Médio	21
3.1.4. Valor Quadrático Médio	21
3.1.5. Formas de um Sinal de Vibração	21
3.2. Coleta de Informações	23
3.2.1. Escolha dos Pontos a se Medir	23
3.2.2. Medições de Vibração	23
3.2.2.1. Medição de Deslocamento	24
3.2.2.2. Medição de Velocidade	24
3.2.2.3. Medição de Aceleração	25
3.2.3. Equipamentos Utilizados	26
3.3. Métodos de Análise	27
3.3.1. Nível Global	27
3.3.2. Análise Espectral	27
3.3.3. Análise de Envelope	28
3.3.4. Crest Factory	29
3.3.5. Análise Cepstral	30
3.3.6. Spike Energy	30
3.4. Normas Utilizadas	31
3.4.1. Introdução	31
3.4.2. Carta de Severidade Proposta pela VDI 2056, ISO 2372, BS 4675	32
3.5. Causas Comuns de Vibrações em Máquinas e suas Frequências	33
3.5.1. Desbalanceamento	33
3.5.2. Desbalanceamento em Equipamentos Alternativos	34
3.5.3. Eixo ou Acoplamento Fletido	34
3.5.4. Eixo Trincado ou Assimétrico	34
3.5.5. Desalinhamento	34
3.5.6. Excentricidade	34
3.5.7. Mancais de Rolamento Danificados	35
3.5.8. Mancais de Deslizamento com Defeito	35
3.5.9. Folgas Mecânicas	35
3.5.10. Agitação do Filme de Óleo (Whirl do Óleo)	35
3.5.11. Engrenagens	35
3.5.12. Correias	36
3.5.13. Problemas Elétricos	36

3.5.14. Ressonância	36
3.5.15. Cavitação ou Turbulência	36
3.5.16. Pás, Lâminas, Tubos e Guias Danificadas	37
3.6. Gerenciamento da Manutenção Preditiva	37
3.6.1. Classificação dos Equipamentos	37
3.6.2. Determinação de Rotas dos Equipamentos	38
3.6.3. Cronograma de Medições	38
3.6.4. Ordem de Serviço	39
4. Critérios de Avaliação das Unidades	43
4.1. Abrangência dos Equipamentos Analisados	43
4.1.1. Usina Química de Santo André	43
4.1.2. Usina Química de Paulínia	43
4.1.3. Fairway - Santo André	43
4.1.4. Análise dos Resultados	44
4.2. Efetivo de Cada Unidade	44
4.2.1. Usina Química de Santo André	44
4.2.2. Usina Química de Paulínia	45
4.2.3. Fairway - Santo André	45
4.2.4. Análise dos Resultados	45
4.3. Instrumentos Utilizados	46
4.3.1. Usina Química de Santo André	46
4.3.2. Usina Química de Paulínia	46
4.3.3. Fairway	47
4.3.4. Análise dos Resultados	47
4.4. Sistema Informatizado de Gerenciamento de Manutenção	48
4.4.1. Análise dos Resultados	49
4.5. Método de Coleta/Análise de Dados	50
4.5.1. Critérios Adotados para Classificação dos Equipamentos	50
4.5.1.1. Usina Química de Santo André	50
4.5.1.2. Usina Química de Paulínia	51
4.5.1.3. Fairway	51
4.5.1.4. Análise dos Resultados	52
4.5.2. Técnicas Utilizadas para Coleta e Tratamento de Dados	52
4.5.2.1. Usina Química de Santo André	52
4.5.2.2. Usina Química de Paulínia	52
4.5.2.3. Fairway	53
4.5.2.4. Análise dos Resultados	53
4.5.3. Periodicidade de Coleta de Dados	54
4.5.3.1. Usina Química de Santo André	54
4.5.3.2. Usina Química de Paulínia	54
4.5.3.3. Fairway	55
4.5.3.4. Análise dos Resultados	55

4.5.4. Histórico de Medições	55
4.5.4.1. Usina Química de Santo André	55
4.5.4.2. Usina Química de Paulínia	56
4.5.4.3. Fairway	56
4.5.4.4. Análise dos Resultados	56
4.5.5. Determinação das Rotas dos Equipamentos	56
4.5.5.1. Usina Química de Santo André	56
4.5.5.2. Usina Química de Paulínia	56
4.5.5.3. Fairway	57
4.5.5.4. Análise dos Resultados	57
4.5.6. Eficiência do Plano de Manutenção em Cada Unidade	57
4.5.6.1. Equipamentos Monitorados	57
4.5.6.1.1. Usina Química de Santo André	57
4.5.6.1.2. Usina Química de Paulínia	57
4.5.6.1.3. Fairway	58
4.5.6.1.4. Análise dos Resultados	59
4.5.6.2. Distribuição do Tipo de Manutenção Aplicada (Análise de Vibrações)	59
4.5.6.2.1. Usina Química de Santo André	59
4.5.6.2.2. Usina Química de Paulínia	60
4.5.6.2.3. Fairway	60
4.5.6.2.4. Análise dos Resultados	60
4.5.6.3. Distribuição do Estado Atual dos Equipamentos Monitorados	60
4.5.6.3.1. Usina Química de Santo André	60
4.5.6.3.2. Usina Química de Paulínia	61
4.5.6.3.3. Fairway	61
4.5.6.3.4. Análise dos Resultados	62
4.5.6.4. Distribuição das Principais Causas de Vibração	63
4.5.6.4.1. Usina Química de Santo André	63
4.5.6.4.2. Usina Química de Paulínia	63
4.5.6.4.3. Fairway	64
4.5.6.4.4. Análise dos Resultados	65
5. Recomendações	66
6. Referências Bibliográficas	69

Lista de Figuras

Capítulo 1.

Figura 1.1 Localização das unidades do Grupo Rhodia no Brasil 2

Capítulo 2.

Figura 2.1 Curvas indicativas das relações entre custos de paradas, manutenção e a importância do programa de manutenção (L. X. Nepomuceno) ... 9

Figura 2.2 Espectrogramas de diferentes componentes 12

Figura 2.3 a) falhas apresentadas em motores elétricos realizada pela IEE
b) falhas apresentadas em motores elétricos realizada pela EPRI
(Figura retirada do periódico “The Predictive and Preventive Maintenance of Electrical Machinery”; Antero Ollila) 16

Capítulo 3.

Figura 3.1 Figura representativa do valor de pico a pico, valor de pico, valor médio, valor quadrático médio (Bruel & Kjaer) 20

Figura 3.2 Sinais típicos de vibração e do ruído e seus espectros de frequência (A.Kelly & M.J. Harris) 22

Figura 3.3 Figura indicando as diferenças de fases existentes entre deslocamento, velocidade, aceleração (Bruel & Kjaer) 24

Figura 3.4 Apresenta a relação entre a força, mobilidade e o resultado da velocidade de vibração 28

Figura 3.5 Descrição da Análise de Envelope (Bruel & Kjaer) 29

Figura 3.6 Apresenta os sinais coletados em virtude de falha por Fator de Crista 30

Figura 3.7 Carta de Severidade proposta pela VDI 2056, ISO 2372, BS 4675 33

Figura 3.8 Critério para Classificação de Equipamentos segundo Criticidade no Processo Produtivo (ABB) 38

Figura 3.9 Identificação dos pontos de medição (C. H. Fagundes) 40

Figura 3.10 Exemplo de Ordem de Serviço (elaborado pela Fairway, Santo André) 41

Capítulo 4.

Figura 4.1	Evolução do número de postos monitorados pela Fairway-Santo André	58/59
Figura 4.2	Evolução dos postos com necessidade de intervenção da Fairway-Santo André	61
Figura 4.3	Evolução do estado dos equipamentos da Fairway	62

Lista de Gráficos

Capítulo 4.

Gráfico 4.1	Equipamentos monitorados pela Usina Química de Santo André	57
Gráfico 4.2	Equipamentos monitorados pela Usina Química de Paulínia	58
Gráfico 4.3	Tipos de manutenção aplicada na Usina Química de Santo André	59
Gráfico 4.4	Tipos de manutenção aplicada na Usina Química de Paulínia	60
Gráfico 4.5	Distribuição do estado atual dos equipamentos monitorados da Usina Química de Santo André	61
Gráfico 4.6	Indicativo do número de recomendações de intervenção das principais falhas (jan/97 a ago/97)	64

Lista de Tabelas

Capítulo 3.

Tabela 3.1	Indica os limites máximo de frequência dos parâmetros velocidade, aceleração (inclusive análise de envelope)	26
-------------------	--	----

Capítulo 4.

Tabela 4.1	Comparativo entre a equipe na unidade e equipe teórica	46
Tabela 4.2	Frequência de acompanhamento	54
Tabela 4.3	Principais causas de falhas da Usina Química de Paulínia	63
Tabela 4.4	Número de relatórios (%) emitidos para os principais tipos de problemas apresentados na Fairway	64
Tabela 4.5	Número de relatórios	64

Resumo

Este trabalho tem como objetivo, em sua primeira parte, estudar os tipos de manutenção industrial existentes e as principais técnicas de análise relacionadas a cada uma delas.

Feito isso, iremos focar especificamente o processo de gerenciamento da Manutenção Preditiva - Análise de Vibração em equipamentos rotativos (como em bombas, motores, compressores, ventiladores).

Faremos um estudo de um caso prático, um comparativo entre as unidades da Rhodia S.A., focando principalmente a Usina Química de Santo André.

Iremos comparar os recursos utilizados (equipamentos e softwares), métodos de coleta de dados, o gerenciamento de todo o processo, propondo no final, ações de melhoria para esta unidade (Usina Química de Santo André).

“Abstract”

This work has as objective, in its first part, to study the types of industrial maintenance that exist and the main technics of analysis associated about each one of them.

After that, we are going to focus specifically the management process of Predict Maintenance - Vibration Analysis about rotative equipment (such as pumps, engines, compressor, fan).

We are going to study a practical case, a comparative among units of Rhodia S.A., focalizing mainly the Chemical Plant of Santo André.

We will compare basically the resources utilized (equipments and softwares), data collecting methods, the management of the all process, proposing at the conclusion, improvement actions for this unit (Chemical Plant os Santo André).

1-Introdução

1.1. A Empresa

A Rhodia S.A. é uma empresa pertencente ao grupo francês Rhône-Poulenc, que é o sétimo maior grupo químico-farmacêutico do mundo.

Ela está presente em 140 países e instalou-se no Brasil em 1919, na cidade de Santo André.

Atualmente, a Rhodia é o maior complexo químico farmacêutico da América do Sul.

Para podermos ter idéia do tamanho desta empresa, ela possui um efetivo de 7 mil pessoas distribuídas em suas unidades industriais localizadas não apenas no estado de São Paulo, mas também nos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia e Pernambuco, como poderemos ver na Figura 1.1.

Seu ramo de atuação refere-se à produção de matérias-primas químicas e têxteis, fibras têxteis, medicamentos, produtos destinados à saúde animal e à agricultura.

Atualmente, o faturamento do grupo Rhodia se concentra no Setor Químico-Fibras e Polímeros (78%), sendo os negócios ligados à "Ciências da Vida" (Agro, Farma, Mériex Veterinária, Nutrição Animal e Pasteur Mériex) correspondem à 22%.

A Rhodia possui um faturamento líquido anual em torno de 1,5 bilhões de dólares, não considerando a Acrinor (a Rhodia possui uma participação de 36%) e a Fairway (participação de 50%).

O Brasil é responsável por 7,6% do faturamento total da Rhône-Poulenc, ficando atrás apenas da França e dos Estados Unidos.

O nível de investimento da Rhodia tem aumentado a cada ano.

Na década de 80, estava na média de 7,3 % do faturamento, entre 1990 e 1993 subiu para 8,2 % e nos anos de 1994 a 1996 os investimentos subiram para 12,2 % do faturamento.

Abaixo iremos detalhar cada área de atuação das várias unidades da Rhodia S.A.

1.1.1. Fibras e Polímeros

Praticamente tudo que encontramos ao nosso redor é derivada de matérias-primas do setor de fibras e polímeros: tapetes, roupas, calçados, embalagens rígidas e flexíveis, peças de automóveis e eletrodomésticos, pneus, alimentos (macarrão, coco ralado, café), etc.

A Rhodia-Ster S.A., join-venture formada pela associação da Rhodia (60%) com a Celbrás (40%), lidera a produção de fibras e não tecidos de poliéster (Bidim), filmes, resinas, preformas e garrafas de poliéster, fibras de acrílico e viscose.

Possui unidades em São Paulo-SP (Rhodia-Ster e Rhodia-Ster Fipack), São José dos Campos-SP (Rhodia-Ster Fibras), Poços de Caldas-MG (Rhodia-Ster Fipack), Cabo-PE (Rhodia-Ster Nordeste, Rhodia-Ster Filmes).

A RHODIA NO BRASIL

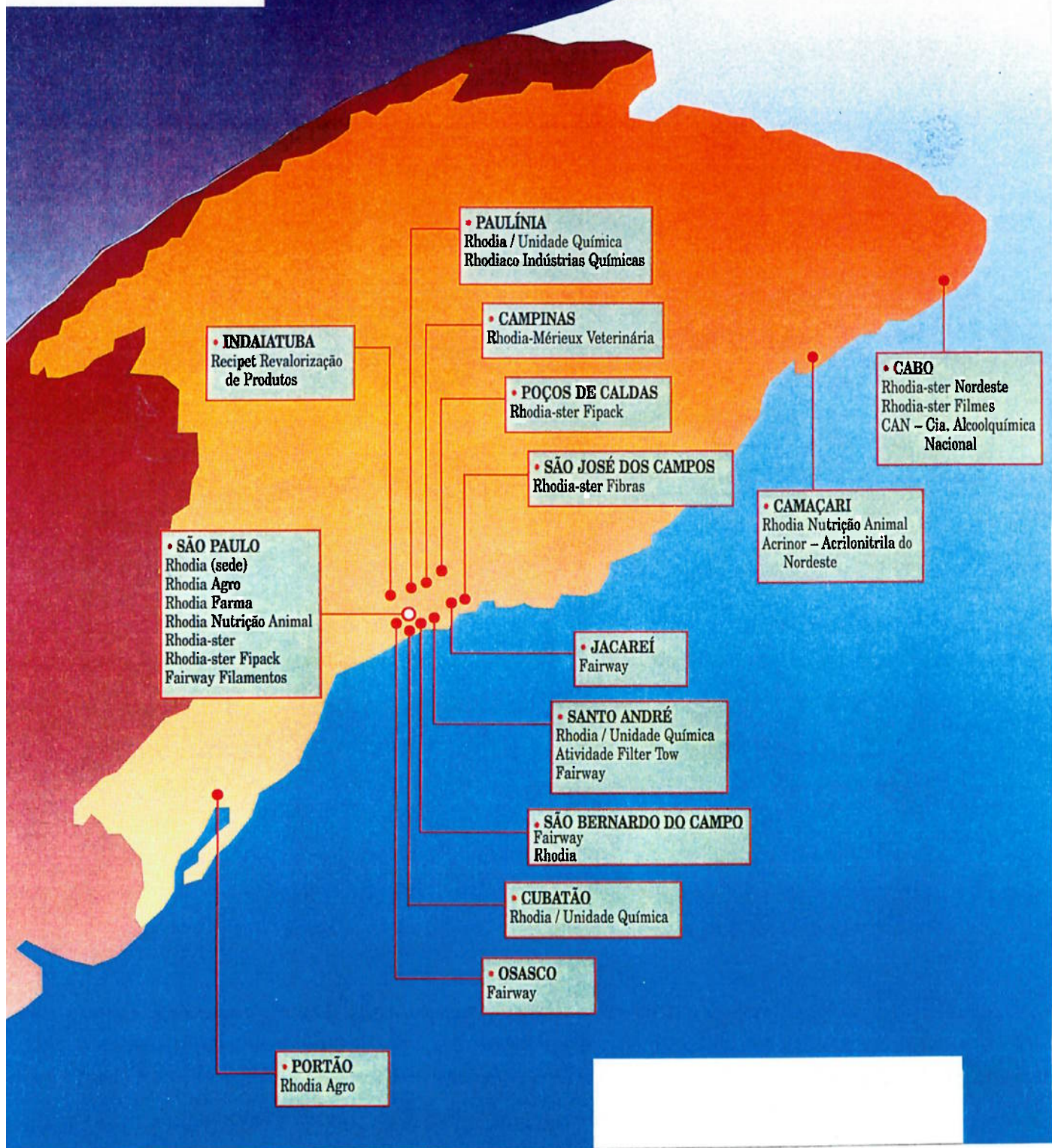


Figura 1.1: Localização das unidades do Grupo Rhodia no Brasil

A Rhodiaco Ind. Químicas Ltda, associação da Rhodia com a empresa norte-americana Amoco, é muito importante no processo de fabricação de embalagens PET (como garrafas de poliéster, muito utilizadas pelas indústrias de refrigerantes).

A Rhodiaco (também com participação majoritária da Rhodia) localizada em Paulínia-SP, fabrica o ácido tereftálico purificado (PTA) que é a matéria-prima do poliéster.

A Fairway Filamentos S.A , associação da Rhodia (50%) com a Hoechst (50%), é líder na produção de filamentos para aplicações têxteis e industriais na América do Sul.

Ela produz fios de nylon, poliéster, acetato e elastano e fibras nylon (através de marcas conhecidas como Rhodanyl, Trevira, Tergal).

A Fairway possui unidades em Santo André-SP, São Bernardo do Campo-SP, Jacareí-SP.

A Rhodia também atua no mercado de plásticos de engenharia, preocupando-se em melhorar as propriedades mecânicas, técnicas e elétricas dos polímeros de poliéster e nylon.

Atua também no mercado de filtros de cigarros, produzindo o plastificante triacetina e o cabo de acetato de celulose, que são responsáveis pela alta performance do filtros de cigarros.

1.1.2. Química

As unidades de Paulínia-SP e Santo André-SP são responsáveis por um dos setores mais representativos, que é o setor de produtos industriais de base.

A produção chega a 300 mil toneladas envolvendo as atividades de Fenol e derivados (destinados a intermediários químicos, resinas e polímeros e solventes), Acéticos (para fabricação de látex, intermediários químicos para solventes, filter tow, ácido tereftálico, e aplicações em indústrias têxteis e alimentícias), Solventes (para matéria-prima na fabricação de tintas e vernizes, tintas de impressão, thinners, defensivos agrícolas, extração de óleos lubrificantes, antibióticos, metais e intermediários químicos) e Silica (tem a função de espessante e abrasivo na aplicação de dentífricos, aderente e antiabrasivo nas aplicações de pneus e solados para calçados, como agente fosqueante para tintas e vernizes).

Na química fina, podemos exemplificar com as matérias-primas presentes em chocolates (como a vanilina, que transmite o aroma de baunilha), em xampus e cremes, em sabonetes e sabão em pó (silicatos e acetatos), defensivos agrícolas, em óleos lubrificantes e cigarros (triacetina), no processamento de petróleo e resinas de fundição (furfura e álcool furfurílico).

Na indústria de alimentos, podemos exemplificar a presença nas indústrias de laticínios (coagulantes, fosfatos e fermentos), indústrias de massas e biscoitos (espessante de origem vegetal).

1.1.3. Saúde Humana

Neste campo de atuação, podemos citar a Rhodia Farma Ltda, localizada em São Paulo, que está entre os dez maiores laboratórios do país.

O sucesso é devido a existência de um investimento que cobre além da tecnologia, os recursos humanos (8% da folha de pagamento é destinado à formação de pessoal).

A Rhodia Farma produz medicamentos, anti-infecciosos, anti-inflamatórios, analgésicos, produtos psiquiátricos, entre outros.

1.1.4. Saúde Veterinária e Nutrição Animal

Na área de saúde veterinária e nutrição animal podemos destacar a Rhodia Mérieux Veterinária Ltda, com fábrica em Paulínia-SP e sede em Campinas-SP.

Possui o maior e mais completo parque industrial de produtos veterinários do país (possuindo modernos laboratórios de fármacos e biólogos).

Ela produz vacina purificada no combate à febre aftosa, antibióticos usados como preventivos e curativos na ração de aves e suínos.

Produz também vacinas contra clostridioses de bovinos, doenças de Newcastle, botulismos de bovinos e anticoccidiano de última geração da Jansen (Bélgica).

Outra empresa que podemos destacar nesta área é a Rhodia Nutrição Animal Ltda, com unidade sediada em Camaçari-Ba.

Produz também componentes que são adicionados às rações de aves, suínos, bovinos, e animais de companhia (cães e gatos), além de produzirem especialidades para ruminantes (anticoccidiostático e aminoácido protegido).

1.1.5. Produção Agrícola

Nesta área destaca-se a Rhodia Agro Ltda, localizada em Portão-RS.

Produz componentes destinados às principais culturas e segmentos do mercado brasileiro como inseticidas, fungicidas, reguladores de crescimento e herbicidas.

Na Estação Agrícola Experimental (EAE), em Paulínia-SP, realizam-se vários testes e experimentos destinados à procura de melhorias nesta área.

1.2. A Gerência Tecnologia Industriais

O presente estágio está sendo realizado na Gerência de Tecnologia Industriais, na área de Assessoria de Manutenção Industrial.

A Gerência de Tecnologia Industriais trata-se de uma espécie de “consultoria” na área industrial dentro do grupo Rhodia.

Ela visa dar suporte aos vários processos industriais, desenvolvendo e assessorando ações e projetos ligados à essa área.

Tal assessoria às várias unidades do grupo pode ser sustentada através da realização de constantes pesquisas que detectam, avaliam e exploram oportunidades.

É também de sua responsabilidade, otimizar o processo de troca de conhecimentos entre os centros tecnológicos (rede de comunicação).

A edição de relatórios, guias, métodos, recomendações, procedimentos e realizações de formação avançada servem para promover e divulgar tais conhecimentos.

A Gerência de Tecnologia Industriais baseia sua atuação de acordo com os seguintes pilares da filosofia gerencial:

-Conceito (Racional): Sistemas gerenciais; Sistemas organizacionais; Avaliação de processos;

-Método (Ferramenta): Medição de desempenho; Procedimentos e métodos; Equipamentos e materiais;

-Ambiente (Emocional): Animação da família; Organização de eventos; Educação Continuada;

Abaixo iremos descrever as responsabilidades desta gerência nos diversos tipos de atividades:

-Consultoria Industrial: realiza o acompanhamento e avaliação de sistemas industriais dando assessoria e apoio técnico e gerencial;

-Desenvolvimento tecnológico: preocupação com a procura, avaliação, absorção, adaptação e difusão de tecnologias inovadoras;

-Formação: levantamento de necessidades, preparação e realização de cursos, eventos e visitas;

-Projetos Tecnológicos: conceituação e gerenciamento de projetos técnicos específicos;

-Regulamentação: analisa aspectos legais, políticas e diretrizes aplicáveis aos equipamentos, máquinas, materiais e serviços;

-Representação: atuação nas principais entidades normativas e profissionais.

E por fim, iremos descrever as competências específicas abaixo descritas, que são englobadas pela Gerência de Tecnologia Industriais:

-Desenvolvimento de Laboratório (Análise geral e industrial; Técnica de controle analítico; Auto-controle; Boas práticas de laboratório);

-Energia e Utilidades (Máquinas e equipamentos térmicos; Gestão de energia; Produção, distribuição e uso de utilidades);

-Modelização e Cálculo (Modelos e ferramentas para simulação de processos; sistemas especialistas de apoio à operação; aplicativos com uso de redes neurais);

-Manutenção Industrial (Manutibilidade, disponibilidade e integridade; análise vibratória, lubrificação, preditiva; manutenção centrada em confiabilidade).

1.3. Objetivo e Escopo do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo analisar e propor ações de melhoria no processo de gerenciamento da manutenção preditiva-análise de vibração adotado na Rhodia (especificamente na Usina Química de Santo André).

Outras unidades da Rhodia, como a Fairway-Santo André e a Usina Química de Paulínia serão utilizadas como benchmarking.

Os equipamentos a serem estudados são:

-Bombas-Motor;

-Compressores frigoríficos e compressores de ar comprimido;

-Redutores;

-Ventiladores.

Serão identificados recursos utilizados (equipamentos e softwares), os métodos de coleta de dados, a abrangência dos equipamentos monitorados, além do gerenciamento de todo esse processo.

O levantamento do estágio atual dessas unidades em relação à manutenção preditiva - análise de vibração servirá como base para a identificação dos pontos fortes e fracos, e propor ações de melhoria para garantir um bom funcionamento dos equipamentos rotativos, evitando quebras totais ou parciais dos equipamentos e reduzindo progressivamente o número de intervenções nesses equipamentos.

Com este Projeto de Estágio pretende-se conhecer as técnicas de análise de vibrações e a utilização dos recursos disponíveis para o diagnóstico da situação atual e sugestões de melhoria.

Pretendemos contribuir, dessa forma, com uma diminuição nos custos de manutenção e quebras dos equipamentos, evitando perdas de produção, melhorando a performance do processo de gerenciamento de análise de vibrações e o aumento da disponibilidade da instalação.

2-Manutenção Industrial

2.1. Introdução

“Conjunto de medidas necessárias que permitam manter ou restabelecer a um sistema o estado de funcionamento”.

Esta é, segundo Larousse, a definição de manutenção.

Atualmente, esta definição estaria incompleta.

Nos dias de hoje, Manutenção também é sinônimo de rentabilidade dos negócios.

O aumento da disponibilidade da instalação resulta em um aumento da produtividade da empresa.

Ao contrário, por exemplo, em uma parada imprevista de um equipamento (quebra), resulta em grandes perdas de produção, além de riscos de acidentes e danos ao meio ambiente (principalmente em Indústrias de Processo).

A Manutenção Industrial tornou-se, dessa forma, um importante meio de redução de custos dentro de uma empresa.

Esta preocupação das indústrias com a Manutenção pode ser traduzida através de números:

-Nos países desenvolvidos, a Manutenção corresponde a 4 % a 8 % do PIB nacional;

-No Brasil, estes valores ficam em torno de 14 % do PIB (ABRAMAN - Situação da Manutenção no Brasil - 1993);

-Em uma planta industrial, a área de Manutenção corresponde de 10 % a 20 % do efetivo, com um budget de Manutenção de 1,5 % a 15 % do seu faturamento;

-No Grupo Rhodia, a área de manutenção corresponde a 14,5 % do efetivo, e seu budget de Manutenção Industrial está em torno de 7 % do faturamento.

Dessa forma, a função Manutenção tornou-se de uma vez por todas, um dos fatores limitantes para o sucesso de uma empresa que tem uma forte base industrial.

Com isso a crescente procura de novas tecnologias e processos na área de manutenção com a finalidade do aumento da confiabilidade e manutibilidade da empresa foi notória.

Toda essa importância fez com que a Rhodia realizasse seminários bimestrais desde 1991, apresentado trabalhos técnicos que divulgassem as experiências dos profissionais dessa área.

Visando, dessa forma, dar uma continuidade operacional de suas unidades, uma formação e intercâmbio de experiências entre os profissionais que atuam na área de Manutenção Industrial.

2.2. A História da Manutenção

A Manutenção iniciou-se devido uma consequência da Revolução Industrial, evoluindo juntamente com o desenvolvimento industrial.

Uma grande contribuição à Manutenção Industrial foi dada pelas forças armadas.

Tanto a Marinha como a Aeronáutica necessitavam de um alto controle de qualidade e técnicas de manutenção, pela própria segurança do seu efetivo e pela busca de maiores eficiências, principalmente em conflitos.

Por exemplo, durante a Segunda Guerra Mundial foi desenvolvida uma tecnologia que serviria como base à Termografia: o infravermelho.

Os infravermelhos eram utilizadas para auxiliar na visão noturna, localizando tropas e veículos através do fornecimento de um mapa térmico.

Grandes contribuições também ocorreram relacionadas com as técnicas de ensaios não-destrutivos (líquido penetrante, ensaio ultra-sônico, deformação e alteração nos campos elétricos e magnéticos devido a presença de descontinuidade, efeito Bauhausen, ressonância magnética).

De certa forma, podemos dizer que as forças armadas praticamente definiram o rumo da história da evolução da Manutenção nas indústrias.

Contando um pouco da história da Manutenção Industrial, até 1950 ela era totalmente corretiva.

Corrigia-se o defeito da máquina após uma quebra inesperada.

Não havia qualquer tipo de planejamento.

Notou-se de início que havia uma necessidade crescente de se diminuir o tempo médio de reparos (MTTR - Mean Time to Repair), que proporcionaria uma diminuição nas perdas de produção com a máquina em reparos.

Havia uma necessidade crescente de se diminuir a incidência de quebras de equipamentos.

Nas décadas de 50 e de 60 começaram a ser aplicados novos conceitos de manutenção: era o início da Manutenção Preventiva Sistemática.

De modo a diminuir os riscos de acidentes e de quebras acidentais de equipamentos, substituíam-se o componente antes da quebra da máquina.

Este tipo de manutenção é realizada com um período de tempo, ou com índices de funcionamento da máquina, baseando-se em históricos ou recomendações do fabricante e vida útil dos componentes.

A área de Inspeção de Equipamentos também foi muito desenvolvida nesta época, principalmente em indústrias de processo.

Ao desmontar o equipamento, inspecionava-se empiricamente os componentes, analisando-se o estado, decidia-se pela sua substituição ou não.

Entre as décadas de 60 e 70 a Manutenção Preventiva Sistemática era largamente difundida.

Na década de 70, iniciava-se a introdução de novos conceitos, a Manutenção Preditiva.

Começou-se a monitorar alguns parâmetros selecionados do equipamento em funcionamento, como a utilização de análise de vibração em equipamentos rotativos, termografia e análises de óleos lubrificantes e de óleos isolantes de transformadores elétricos.

Na década de 80 predomina-se a Manutenção Preditiva.

Nos anos 90 um novo conceito sobre sistema de trabalho começou a ser implantado nas indústrias brasileiras: o TPM.

Total Productive Maintenance, o TPM, é um sistema de trabalho entre áreas de produção e manutenção conhecido mundialmente.

Os conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade e da Manutenção Pró-Ativa também começaram a ser bastante difundidos.

No campo da administração e do gerenciamento da qualidade, teorias como TQC (Total Quality Control), TQM (Total Quality Management), o JIT (Just-in-Time) e o 5S surgidos no Japão, vieram por modelar a Manutenção atual no Brasil.

2.3. Sistemas de Manutenção

A função da Manutenção, como já foi dita, é manter os equipamentos ou um dispositivo qualquer com um desempenho satisfatório ao passar do tempo.

Notamos também que o fator econômico é determinante para que uma decisão seja tomada em relação a qual sistema de Manutenção deverá ser escolhida.

Abaixo iremos apresentar de maneira esquemática as curvas que ilustram as relações entre os custos de paradas, manutenção e a importância do programa de manutenção.

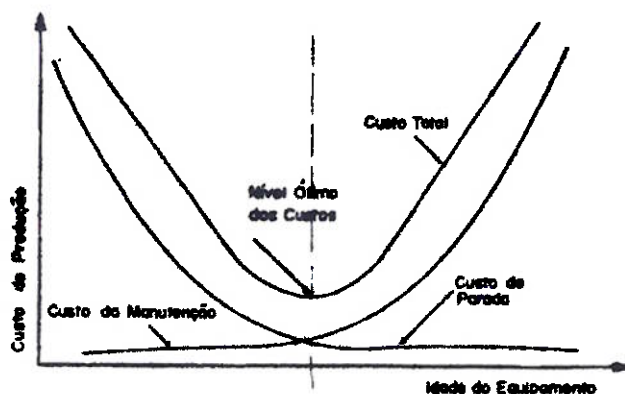


Figura 2.1: Curvas indicativas das relações entre os custos de paradas, manutenção e a importância do programa de manutenção (L. X. Nepomuceno)

Notamos que uma maior confiabilidade no sistema exige maiores custos totais.

A escolha do ponto ótimo deve ser definida pelo projetista (engenheiro).

Como já foi dito, existem três tipos básicos de Sistemas de Manutenção:

- Manutenção Corretiva ou Acidental;
- Manutenção Preventiva Sistemática;
- Manutenção Preditiva ou Preventiva Sob Condição;

Abaixo iremos definir cada um desses sistemas.

2.3.1. Manutenção Corretiva ou Acidental

Neste sistema de Manutenção, a intervenção é realizada para corrigir as causas e efeitos de ocorrências constatadas, isto é, a manutenção é realizada após a falha.

Deveria ser o sistema de Manutenção menos utilizada.

A falha não deveria ser vista como algo inesperado.

Desta forma, não é possível se ter um planejamento adequado para as intervenções, pode-se não ter também a disponibilidade de material e de pessoal, o que acarretaria em prejuízos à empresa (perda de produção devido a equipamentos parados).

Por outro lado, estes aspectos negativos podem ser amenizados caso aplicados em equipamentos não prioritários, ou seja, aqueles em que, em caso de falha, não seja crítica à produção e os custos de intervenção sejam relativamente baixos.

2.3.2. Manutenção Preventiva Sistemática

“É a manutenção efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. Esta é a definição dada pela ABNT - NBR 5462 - 1994.

Como podemos observar nesta definição, muitos dos inconvenientes apresentados na Manutenção Corretiva, foram parcialmente resolvidos, mas longe do ideal:

- Aumento da confiabilidade e disponibilidade do equipamento;
- Melhora no planejamento de intervenção;
- Aumento da disponibilidade de material e de pessoal;
- Diminuição de perdas de produção (através de paradas imprevistas);

A Manutenção Preventiva foi baseada em dados estatísticos de vida média e tempo médio de falhas e com pouco embasamento técnico, propondo-se dessa forma, um calendário de trocas de componentes dos equipamentos.

As revisões de manutenção são programadas em períodos fixos não se importando com o estado real dos componentes dos equipamentos.

Existe uma grande probabilidade de se substituir componentes em perfeito estado e ocorrer o aparecimento de defeitos em componentes considerados sadios.

Nas paradas de manutenção geral, por exemplo, o responsável pela manutenção decide pela troca de componentes, mesmo sadios, devido a substituição de novos componentes de forma a aumentar a confiabilidade (teoricamente).

Evitando-se assim, novas paradas, interrompendo a produção (altos custos).

Mas isso nem sempre é verdade.

Pelo contrário, esse procedimento pode ocasionar novos inconvenientes:

- Necessidade do aumento de estoque de peças;
- Envelhecimento prematuro do dispositivo, devido desmonte seguido de remontagem em curto espaço de tempo;

-Devido o não acompanhamento de parâmetros indicativos de falha no equipamento, não é possível determinar, por exemplo a presença de desalinhamento ou desbalanceamento, que não seria resolvido pela substituição de um rolamento.

Notamos que muitas das dificuldades foram amenizadas, mas não resolvidas.

Era preciso um método mais seguro para equipamentos de maiores responsabilidades.

2.3.3. Manutenção Preditiva ou Preventiva Sob Condição

A necessidade do aumento da disponibilidade da instalação fez com que fosse desenvolvido um novo sistema de Manutenção.

Através do acompanhamento de parâmetros que indicam as condições do equipamento, poderemos determinar o estado real da máquina e prever a aproximação de uma falha.

As teorias de Estatística e da Probabilidade são fundamentais neste novo sistema que servirá para a manipulação de dados e determinação de limites de alerta (alarme).

Dessa forma reduziremos a chance de substituirmos um componente ainda sadio ou a chance de não substituirmos um componente em más condições.

Essa melhora no planejamento de intervenção e conseqüentemente maior confiabilidade é refletido na redução de ocorrências de paradas imprevistas, com um aumento da disponibilidade de material, pessoal e da instalação como um todo.

Quanto maiores as frequências de medições, poderemos aumentar essa eficiência.

2.3.3.1. Análise de Vibrações

Um dos mais importantes e eficientes modos de se detectar e prever falhas em equipamentos é através da análise de vibrações.

A vibração é uma oscilação em torno de uma posição de referência.

Normalmente ela vibra em várias frequências e amplitudes, podendo desgastar a máquina comprometendo o seu funcionamento.

A Análise de Vibrações não é um método simples, pois, a vibração da máquina é uma contribuição das excitações de todos os seus componentes.

Qualquer acréscimo no nível de vibração corresponde a presença de um defeito no equipamento.

À primeira vista, a determinação da causa deste acréscimo não é simples.

É necessário uma análise mais detalhada dos espectros colhidos nos equipamentos (análise das frequências de vibração).

A figura 2.2 mostra espectrogramas de diferentes componentes (retirados do manual Measuring Vibration, Bruel & Kjaer).

O primeiro espectrograma foi coletado de um diapásão.

O segundo espectrograma é representativo do pistão de um motor de combustão interna.

O terceiro espectrograma representa uma somatória de frequências produzida por cada engrenagem, demonstrando uma dificuldade na análise desses sinais.

Dessa forma para um diagnóstico preciso, é necessário isolarmos cada frequência (sinal de vibração) emitida por cada componente presente, e analisarmos isoladamente (Análise de Vibração).

Todos os dados (espectros) podem ser coletados sem a necessidade de se parar ou desmontar o equipamento.

Dessa forma as medidas podem ser feitas periodicamente, mostrando o seu real estado.

É possível, assim, acompanhar a evolução de uma falha em um componente e prever a sua quebra.

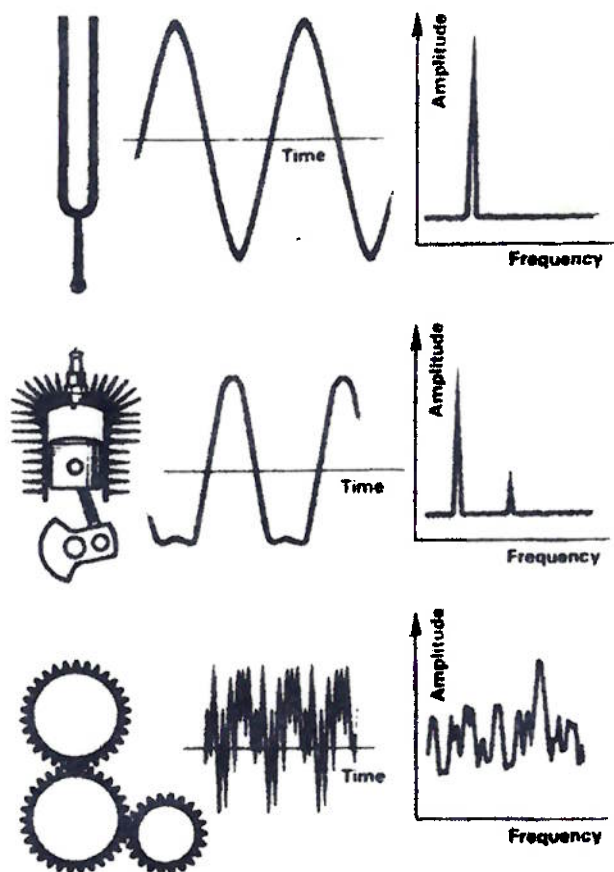


Figura 2.2: Espectrogramas de diferentes componentes (Bruel & Kjaer)

Podendo-se maximizar a sua utilização com total confiabilidade.

Como podemos notar, a Análise de Vibrações é um dos pilares que sustentam a Manutenção Preditiva.

2.3.3.2. Análise de Óleos Lubrificantes

Este método consiste, como o próprio nome diz, na análise de óleos lubrificantes que circulam pelo equipamento e, através de determinados métodos (Inspeção Sensoriais, Ensaio Físico e Químico, Espectrografia de Emissão, Análise Infravermelho, Índice de Neutralização, Contagem de Partículas) indicarmos o seu estado.

A Análise de Óleos Lubrificantes foi também um método muito desenvolvido pelas forças armadas antes de serem implantadas nas indústrias.

Durante a Guerra do Vietnã, as forças armadas dos Estados Unidos utilizaram laboratórios móveis com analisadores espectrográficos para determinar os metais de desgaste e contaminantes em aeronaves militares.

Uma das primeiras a desenvolver modernos laboratórios para análise de óleos foi a aviação comercial sendo posteriormente desenvolvida por toda indústria em geral.

Na Análise de Óleos Lubrificantes, os dados resultantes servirão para o supervisor de manutenção programar as inspeções preventivas dos equipamentos e verificar o estado atual dos lubrificantes antes da drenagem.

Deveremos tomar alguns cuidados com relação à coleta de amostras de óleo.

Elas devem ser colhidas com o equipamento em funcionamento, com o óleo na temperatura operacional ou logo após o funcionamento, com o equipamento ainda na temperatura de operação, durante a drenagem.

Abaixo indicaremos alguns dos métodos utilizados para analisarmos as amostras dos óleos lubrificantes coletados.

2.3.3.2.1. Inspeções Sensoriais

Este método é baseado na experiência do observador.

Utilizamos os aspectos aparência e odor para determinarmos se a amostra contém características normais ou não.

Podemos citar alguns exemplos interessantes.

A presença de água em excesso no óleo, torna a mistura turva.

Quanto maior a quantidade de água, mais turva torna-se a mistura, chegando-se ao ponto de formar gotículas no fundo do recipiente onde se encontra.

Com a progressiva degradação do óleo e presença de contaminantes, o óleo consegue separar-se menos da água.

Dessa forma podemos detectar algum tipo de vazamento (água ou vapor d'água) no equipamento.

Outro exemplo interessante é o fenômeno de escurecimento do óleo.

É indicação de contaminação ou oxidação.

Um odor penetrante de queimado indica oxidação severa.

2.3.3.2.2. Ensaio Físicos e Químicos

Além do Método sensorial descrito acima para detectar presença de água em óleo, podemos utilizar o Teste de Crepitação ou de Chapa-Quente.

Consiste em pingar-se poucas gotas de óleo em uma folha de alumínio ou ferro de soldar aquecidos.

Caso tenha presença de água, ouve-se um estalido.

A Destilação é um dos processos mais utilizados para detectarmos e quantificarmos as substâncias presentes na amostra juntamente com os óleos lubrificantes.

Para detalharmos este processo, tomaremos como exemplo a separação de água em óleo.

Iremos dissolver determinada quantidade de amostra em um hidrocarboneto solvente, imissível em água e aquecido em um balão de destilação.

O vapor d'água é arrastado juntamente com o vapor do solvente para o condensador, onde os gases se condensam e vão para um coletor calibrado.

A água, com maior densidade, deposita-se no fundo do coletor onde seu volume pode ser medido.

O solvente retorna ao balão de destilação.

Especificamente para detectarmos teor de água, temos o Método de Karl Fisher.

Este método consiste em titular a amostra com uma complexa solução de iodo e de dióxido de enxofre em piridina, sendo a concentração de água calculada de forma indireta, através do consumo da solução de iodo.

Através deste método, podemos calcular tanto a concentração de água livre como a de água dissolvida.

Para determinarmos insolúveis em óleo temos vários métodos como a Filtração, Centrifugação num tubo cônico, Testes de mancha em mata-borrão, Método ótico.

Podemos destacar o método de Centrifugação num tubo cônico, onde a amostra a ser analisada é misturada com um solvente adequado e colocada no tubo cônico da centrífuga.

Independente do solvente adicionado, água e sedimento irão se concentrar no fundo do tubo (podendo ser medido pelas graduações do tubo).

2.3.3.2.3. Espectrografia de Emissão

É um método que analisa as partículas de desgaste.

A amostra de óleo lubrificante é submetida a um arco de alta tensão.

Os elementos metálicos presentes são excitados, emitindo cada um, seu característico espectro de luz.

Esses espectros de luz são então convertidos em concentrações de elementos.

Todo esse processo é realizado com o uso do espectrômetro de emissão.

Em um equipamento novo, encontra-se poucas quantidades de metais no óleo, aumentando-se essa quantidade gradativamente.

Um aumento súbito dessa quantidade pode ser um sinal de desgaste em algum componente da máquina.

2.3.3.2.4. Análise de Infra-Vermelho

Esta técnica oferece meios para detectar contaminantes orgânicos, água e produtos da degradação do óleo em baixos níveis.

2.3.3.2.5. Índice de Neutralização

Índice de Neutralização é a quantidade em miligramas de hidróxido de potássio requeridos para neutralizar a acidez num grama de óleo.

Esse índice é calculado pela titulação (reação da dissolvida amostra de óleo com uma solução de ácido ou base).

O Índice de Neutralização é um importante parâmetro para controlarmos qualquer anormalidade no equipamento.

Todo óleo é neutro.

Acidez (pH inferior a 7) significa que pode ser indicação de degradação do óleo por oxidação.

Caso os valores de pH fiquem inferiores a 4, é indicativo de presença de ácidos fortes, provavelmente corrosivos.

2.3.3.2.6. Contagem de Partículas

É uma técnica que consiste em determinar o número de partículas em faixas de tamanhos pré-determinadas, que estão presentes nas amostras de óleos lubrificantes.

Utiliza-se o princípio de medida fotométrica ou baseada na variação de resistividade elétrica provocada pela passagem do óleo através de um pequeno orifício.

2.3.3.3. Preditiva em Motores Elétricos

2.3.3.3.1. Introdução

Os métodos utilizados na Manutenção Preditiva em motores elétricos são relativamente diferentes daquelas utilizadas em sistemas mecânicos devido aparecerem outros tipos de defeitos, embora alguns métodos utilizados em equipamentos rotativos, também possam ser utilizados na monitoração destes equipamentos.

Abaixo iremos apresentar uma pesquisa realizada, de forma a ilustrarmos os principais tipos de defeitos encontrados em motores elétricos.

A US Electric Power Research Institute (EPRI) analisou 1141 motores de corrente alternada (maior parte), com potência acima de 147 KW e a US Institution of Electrical and Electronic Engineer (IEE) analisou 6312 instalações com bombas e ventiladores, com potência superior a 73 KW de modo a realizarem um estudo indicativo de quais eram as principais falhas observadas.

A IEE apresentou que, as falhas iniciaram devido:

-Falhas mecânicas (37 %);

-Excesso de calor (15%);

-Falhas de isolamento (12%).

Tendo como principais causas:

-Envelhecimento normal (24%);

-Vibração (18%);

-Lubrificação insuficiente (17%).

Causas apresentadas acima, como consequência de:

-Manutenção inadequada (23%);

-Componentes falhos (20%);

-Testes ou montagens erradas.

Como podemos notar, medidas básicas como lubrificação, aumentariam consideravelmente a disponibilidade dos equipamentos.

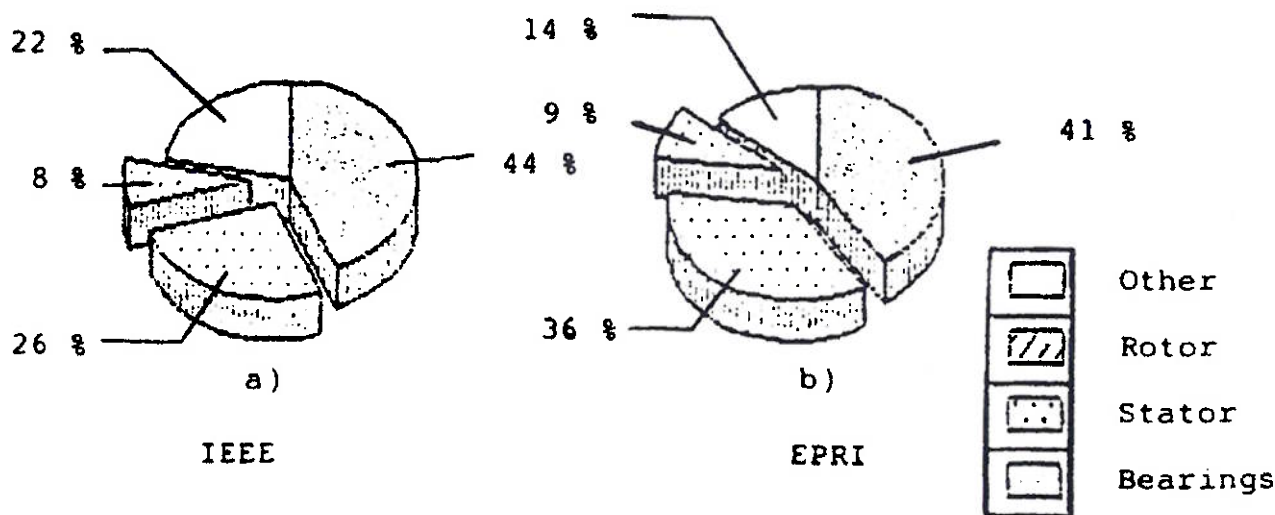


Figura 2.3: a) falhas apresentadas em motores elétricos realizada pela IEE
 b) falhas apresentadas em motores elétricos realizada pela EPRI
 (Figura retirada do periódico "The Predictive and Preventive Maintenance of Electrical Machinery"; Antero Ollila)

Abaixo iremos detalhar as principais técnicas de monitoramento para motores elétricos.

2.3.3.3.2. Análise Espectral

Este método é o mais utilizado para se monitorar motores de indução tanto AC como DC.

Em motores de indução AC, as principais falhas detectadas são aquelas relacionadas em mancais, isolamentos e bobinas.

Utiliza-se análise de espectro de corrente de motor podendo-se indicar falhas como quebra de barra do motor, tendência de pico, excentricidade estática ou dinâmica, desbalanceamento da força magnética, aumento de resistência nas bobinas, etc.

Nos motores DC os problemas que surgem são semelhantes com os dos motores AC, como problemas com montagem incorreta, com engates mecânicos, falhas mecânicas, falhas em mancais mas relacionados principalmente com a comutação (principal problema em motores DC).

Pode-se utilizar também a análise espectral na corrente de estator, podendo-se revelar falhas nas bobinas.

Algumas práticas como controlar a lubrificação e manter uma temperatura de operação adequada (utilizando-se fluidos refrigerantes para isso) são práticas básicas que aumentam o desempenho desses equipamentos.

2.3.3.3.3. Análise de Campo Eletromagnético Perdido

Através da utilização de antenas especiais é possível "captar" o fluxo de campo magnético perdido para uma eventual análise de espectros.

A frequência de análise é de 0 a 2 KHz

2.3.3.3.4. Flutuação de Velocidade de Rotação

Analisa-se qualquer variação na corrente do motor.

Restringe-se à detecção de barras quebradas.

2.3.3.3.5. Sensores de Temperatura

Utilizam-se sensores de temperatura dentro das bobinas, que monitoram qualquer variação de temperatura, podendo ser causados por defeitos elétricos.

Frequentemente utilizados em motores acima de 200 KW.

2.3.3.3.6. Surge Test

Este método estuda a deterioração e falha do comprimento do isolamento elétrico.

Isso ocorre como resultado de ações externas (alta temperatura, diferentes coeficientes de expansão, força magnética) sofridas pela bobina.

Esta técnica consiste em aplicarmos um pulso elétrico de alta tensão e curta duração em um par de bobinas.

Deveremos notar que as bobinas deverão ser divididas em partes iguais em função de fases, grupos ou segmentos.

Aplicado um pulso elétrico, deveremos analisar a voltagem resultante de cada bobina, em forma de ondas refletidas, que serão mostradas na tela do osciloscópio.

Caso as bobinas sejam idênticas, cada onda irá sobrepor exatamente a outra, aparecendo apenas um traço na imagem.

Se houver uma bobina aberta ou oposta, ou a presença de um curto-circuito em uma delas, iremos notar o aparecimento de uma forma de onda dupla.

Poderemos compará-las com uma terceira bobina de forma a determinarmos em qual das duas se encontra a imperfeição observada.

O Surge Test é um método caro e relativamente complexo, pois necessita-se de equipamentos não muito baratos e mão-de-obra especializada.

Pode monitorar equipamentos como motores de indução ou síncrono, armaduras DC e também no teste de qualidade de bobinas recém fabricadas.

2.3.3.4. Termografia

2.3.3.4.1. O Princípio da Termografia

A Termografia é baseada na utilização de técnicas de Sistemas Infravermelhos.

Ela é um processo muito vantajoso pois permite uma inspeção não destrutiva para medições de temperatura.

Tem como base o princípio de comparação entre as intensidades de radiação emitidas pelo corpo a ser analisado e de uma referência de temperatura.

Como dissemos anteriormente, esta técnica foi muito utilizada e desenvolvida na Segunda Guerra Mundial com o intuito de melhorar a comunicação, visão noturna e reconhecimento de áreas (equipando tanques e aeronaves).

Toda essa tecnologia foi transmitida posteriormente para as indústrias.

Para se realizar, por exemplo, uma inspeção visual do revestimento de alguns equipamentos, ocorre uma alta demanda de mão de obra e tempo, o que resulta também em parada da produção (prejuízo).

A Termografia (sensores infravermelhos) permite a obtenção destes dados, indiretamente, através das medidas das distribuições de temperatura, com elevada confiabilidade, menor tempo e sem a necessidade de se parar a produção (desmontando-se o equipamento).

Essa "coleta de dados" é realizada sem contato físico com os componentes em medição.

Por isso, a possibilidade de medirmos a temperatura de peças em movimento, componentes energizados e controle de refratários em fornos rotativos, sem a necessidade de se parar o equipamento.

As coletas de dados em períodos frequentes são muito facilitadas.

Como não há a necessidade de contato com o equipamento medido, pode-se também evitar o contato com a atmosfera que o circunda, aumentando a segurança.

2.3.3.4.2. Histórico dos Equipamentos

Na década de 50, utilizava-se muito o radiômetro.

São equipamentos dotados de sistemas infravermelhos, de fácil manuseio, muito útil para medições rápidas de temperaturas em pontos determinados e de curta distância.

Novas tecnologias foram desenvolvidas com o surgimento de novos equipamentos como os termovisores.

Os termovisores possuem um sistema infravermelho imageador.

A imagem demorava cerca de 10 minutos para se formar, limitando, assim, à distribuições de temperaturas relativamente estáveis.

Em meados de 1960, foi desenvolvido um aparelho que formava imagens térmicas instantâneas com possibilidade de determinações precisas de temperatura.

A Termografia tornava-se muito importante para a evolução da Manutenção Preditiva, o que exigia equipamentos que dispusessem de novos recursos.

Nas décadas de 70 e 80, conseguiu-se compactar os equipamentos utilizados na inspeção com a aprimoramentos na parte ótica e devido o emprego de circuitos integrados.

Na década de 80, com o emprego de microprocessadores e devido os detectores passarem a ser resfriados termelétricamente, dispensando o uso nitrogênio líquido como refrigerante, conseguiu-se compactar mais esses equipamentos.

Novos recursos de modo a facilitar o operador foram constantemente aprimorados como a possibilidade de rápida resposta a mudanças repentinas de temperatura dos corpos monitorados, medição de grandes áreas determinando seu mapa térmico de modo preciso e em curto espaço de tempo, além de podermos integrar esse sistema com a informática.

Atualmente, esses equipamentos possuem desenho semelhante ao de uma câmera de vídeo, podendo calcular diretamente as temperaturas, correções de emissividade e distância, gerando imagens de alta resolução, podendo ser gravadas e transferidas para posterior análise em microcomputador.

2.3.3.4.3. Principais áreas de monitoramento

Ela foi muito difundida nos meios industriais, pois se adequa perfeitamente aos moldes do Sistema de Manutenção Preditiva.

As principais áreas beneficiadas são: a área elétrica, siderúrgica e petroquímica.

As fábricas de papel também se beneficiam muito desta técnica.

Na área elétrica, verifica-se ocorrência de falhas nas redes e sistemas elétricos (conectores, chaves seccionadoras, barramentos, disjuntores, etc).

Um aumento da temperatura do componente analisado, pode ser sinal de falha.

Na área siderúrgica a Termografia é utilizada para acompanhamento de altos-fornos e dutos de gás, regeneradores, carros-torpedo, lingoteiras, fornos rotativos.

Na área petroquímica, a Termografia é muito utilizada para o monitoramento de importantes equipamentos como purgadores, fornos de processo, reatores, trocadores de calor, dutos de gás, chaminés, tanques, tubulações isoladas.

Na indústria de papel e celulose, podemos controlar a secagem da folha e medir as temperaturas em máquinas rotativas.

3-Manutenção Preditiva - Análise de Vibrações

3.1. Vibração - Quantificação dos Níveis de Vibração

Neste item iremos discutir os sinais de vibração propriamente dito.

O parâmetro mais importante que caracteriza um sinal vibração é sua amplitude.

Ela pode ser quantificada de várias maneiras: valor de pico a pico, valor de pico, valor médio, valor quadrático médio.

Abaixo mostraremos uma figura que ilustra todos os valores dito acima (retirado do manual "Measuring Vibration", Bruel & Kjaer):

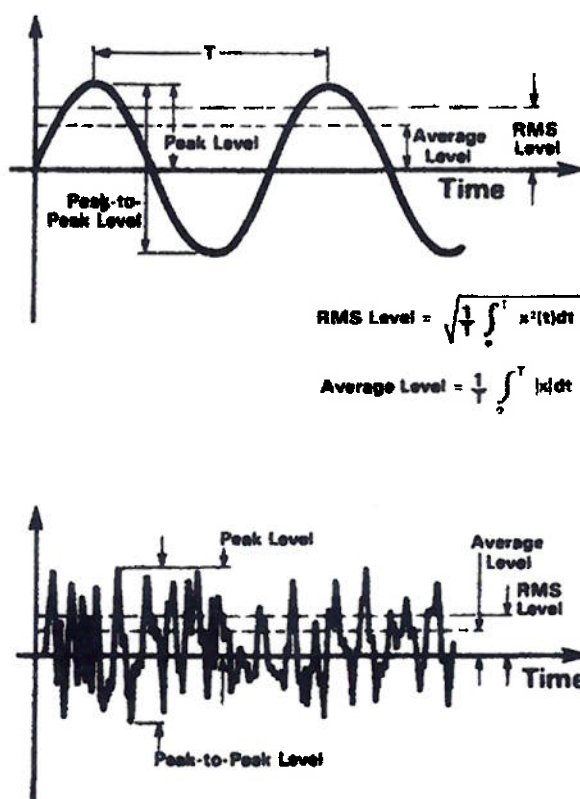


Figura 3.1: Figura representativa do valor de pico a pico, valor de pico, valor médio, valor quadrático médio (Bruel & Kjaer)

3.1.1. Valor de Pico a Pico

O valor de pico a pico representa o trajeto total da onda, sendo um bom indicativo sobre folgas e tensões dinâmicas geradas pela vibração.

Não fornece informações sobre a história do sinal.

3.1.2. Valor de Pico

O valor de pico representa o máximo nível apresentado pela onda, sendo um bom indicativo dos níveis atingidos ocasionados por choques mecânicos.

Também não fornecem informações sobre a história do sinal.

3.1.3. Valor Médio

O valor médio possui uma utilização limitada, pois apesar de fornecer informações sobre a história do sinal, não pode ser relacionado com nenhuma grandeza física.

3.1.4. Valor Quadrático Médio

O valor quadrático médio ou valor eficaz (RMS-Root Means Square) fornece informações sobre a história do sinal.

Além disso, está diretamente relacionada com a energia do sinal.

É o parâmetro de medição mais utilizado, sendo definido por:

$$V_{rms} = \frac{1}{T} \int_0^T V^2 dt$$

Sendo:

-T : período, deve ter um valor bem maior que o período relacionado ao componente de maior frequência de sinal;

-V : valor instantâneo do sinal (que oscila em torno da posição de referência).

O conteúdo energético do sinal está contido no quadrado do sinal de vibração ou de ruído.

O valor médio quadrático do sinal representa, portanto, seu valor médio de energia.

3.1.5. Formas de um Sinal de Vibração

A figura 3.2 mostra os sinais típicos de vibração e do ruído e seus espectros de frequência (figura retirada do livro "Administração da Manutenção Industrial", A. Kelly & M. J. Harris).

A figura a representa um sinal puramente senoidal, apresentando-se em uma única frequência.

Podemos utilizar os parâmetros valor de pico ($V_{pico} = \sqrt{2} V_{rms}$) e valor quadrático médio (RMS) para descrever sua dimensão.

O período do sinal é obtido pelo inverso da frequência.

A figura b representa um sinal periódico, não senoidal, composto por componentes em várias frequências.

Não podemos especificar qualquer relação entre o valor de pico e o RMS, pois depende da forma da onda.

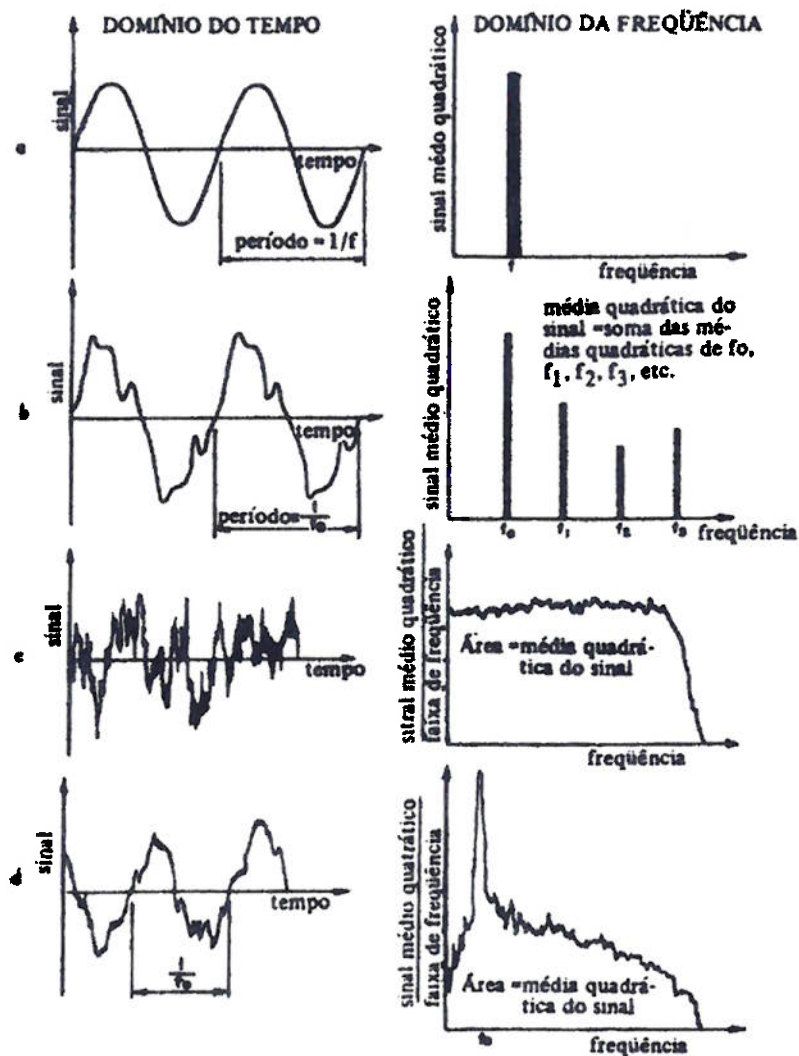


Figura 3.2: Sinais típicos de vibração e do ruído e seus espectros de frequência (A. Kelly & M. J. Harris)

Seu período corresponde ao inverso da menor frequência fundamental (f_0).

Na figura c podemos notar um sinal aleatório.

Ele pode ser descrito pelo RMS e pelo espectro de frequências, que é contínuo em uma faixa bem ampla.

A figura d mostra um sinal qualquer, podendo ser uma combinação dos sinais senoidal, periódico e aleatório.

Podemos notar através deste estudo que utilizando-se as medidas de medição (em especial o RMS), podemos descrever qualquer sinal obtido.

3.2. Coleta de Informações

3.2.1. Escolha dos Pontos a se medir

A definição dos pontos de medição é muito importante para uma coleta de dados sempre segura e precisa. Para isso é preciso determinar locais pré-estabelecidos (marcados) para que todas as medidas coletadas de determinado equipamento sejam feitas no mesmo ponto.

Geralmente os pontos escolhidos localizam-se nos mancais, pois eles são os pontos mais solicitados, estando conectados diretamente às partes móveis, suportando suas reações de movimento.

A fixação do acelerômetro pode ser feita por base magnética ou rosqueada (maior precisão).

3.2.2. Medições de Vibração

Determinados os pontos a se medir, deveremos realizar a coleta de dados corretamente.

Em mancais, as medições de vibração devem ser realizadas em três direções (Radial horizontal, Radial vertical e Axial), sendo que para cada direção poderemos ter vários tipos de medição: medição de deslocamento, medição de velocidade e medição de aceleração.

De forma a evidenciar a diferença de fase existente entre estes parâmetros, iremos mostrar a figura 3.3 (retirada do manual 'Measuring Vibration', Bruel & kjaer) indicando a diferença de fase entre as curvas de amplitude-tempo decorrente da vibração de um diapasão.

Apesar desta diferença, podemos relacioná-las matematicamente.

Com a obtenção de um parâmetro, poderemos dessa forma obtermos os outros dois.

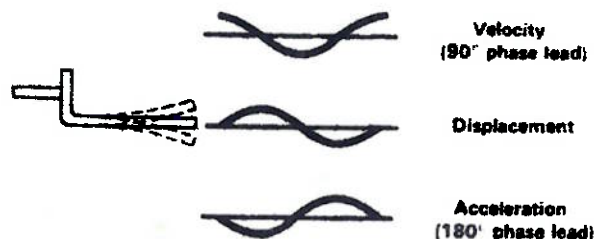


Figura 3.3: figura indicando as diferenças de fases existentes entre deslocamento, velocidade, aceleração (Bruel & Kjael)

Abaixo iremos detalhar melhor cada um deles.

3.2.2.1. Medição de Deslocamento

Devem ser realizadas em pontos de baixa frequência, possuem uma eficiência maior nestas frequências.

Sua formulação matemática é:

$$S = A \sin(2 \Pi f t)$$

Sendo:

-S : deslocamento;

-A : amplitude;

-f : frequência;

-t : tempo;

São úteis para a indicação de :

-vibração da máquina;

-desbalanceamento de componentes de equipamentos rotativos;

-pequenas folgas mecânicas.

3.2.2.2. Medição de Velocidade

Devem ser realizadas em pontos de média frequência ou rotação.

Acima deste valor os dados tornam-se imprecisos.

A frequência mínima deve ser menor que a frequência de rotação do ponto, para que se possa detectar vibrações sub-harmônicas.

Sua formulação matemática é a seguinte:

$$V = A 2 \Pi f \cos(2 \Pi f t)$$

As variáveis são as mesmas da equação de deslocamento.

Podemos obter a função velocidade derivando-se a equação de deslocamento em função do tempo.

Dessa forma conseguimos relacionar estes dois parâmetros matematicamente.

O parâmetro velocidade pode ser utilizado na monitoração de quase todos os componentes dos equipamentos.

Para valores de RMS das medidas de velocidade de vibração sobre uma faixa de 10 Hz a 1000 Hz geram dados mais precisos.

3.2.2.3. Medição de Aceleração

Devem ser realizadas em pontos de altas frequências, gerando dados com maior precisão.

A frequência mínima deverá ser alta neste caso.

Cuidados para evitar que dados preciosos não deixem de ser coletados.

Sua função matemática é a seguinte:

$$a = -A 4 \Pi^2 f^2 \text{ sen } (2 \Pi f t)$$

Podemos obter o parâmetro aceleração derivando-se duas vezes no tempo a função deslocamento ou derivando-se uma vez no tempo a função velocidade.

Segundo o Engenheiro Carlos Fagundes Filho, (em seu trabalho "Dez Passos para Implantação de um Sistema de Manutenção Preditiva e Mais 5 para Aperfeiçoá-lo"), sugere que o parâmetro velocidade fosse aplicada em rotações entre 400 rpm e 40000 rpm.

Sugere também que as medições de aceleração fossem aplicadas a partir de 40000 rpm e a análise de envelope fosse aplicada a partir de 5 rpm (para não perder as frequências características de falhas em gaiolas, que aparecem em uma rotação em torno de 0,5 vezes a rotação do ponto).

Iremos apresentar na tabela 3.4 contida neste trabalho que é indicativa do limite máximo de frequência dos parâmetros velocidade e aceleração (inclusive da análise de envelope) em função da rotação do ponto (em rpm).

Rotação no ponto (rpm)	Lim. máx. em medição de velocidade (rpm)	Lim. máx. em medição de envelope (rpm)	Lim. máx. em medição de aceleração (rpm)
0 - 50	20000	1500	-
50 - 250	30000	10000	-
250 - 1200	40000	50000	120000
1200 - 1800	80000	80000	180000
acima de 1800	120000	120000	320000

Tabela 3.1: indica os limites máximo de frequência dos parâmetros velocidade, aceleração(inclusive análise de envelope) (C. H. Fagundes)

3.2.3. Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados vem servindo de suporte tecnológico para a Manutenção Preditiva.

A cada ano estes equipamentos evoluem mais e mais, facilitando o monitoramento das máquinas.

Visando uma economia de tempo, aumentou-se a rapidez na coleta de dados com equipamentos de fácil manuseio, leves e portáteis.

Atualmente os coletores de dados, além de medirem os valores de grandezas vibratórias (como realizar coleta de níveis globais, aceleração, coleta espectral, etc), e também realizarem a avaliação de dados, podem realizar comparação de níveis de alarme, balanceamento, etc.

Eles também devem ser robustos, sendo resistentes a variações de temperatura, contaminação, umidade, campo magnético.

Os coletores de dados possuem "interface" com softwares de análise utilizados em ambiente DOS ou Windows.

Pode-se descarregar, portanto, todos os dados coletados no computador, para posterior análise.

Esses softwares utilizados facilitam no gerenciamento de dados, além de possuir importantes ferramentas para análise espectral (diferença espectral, espectro de FFT, magnitude ou fases dos vetores, cálculo e comparação de alarmes, espectros, etc), sendo possível também a comunicação de um software com outro.

3.3. Métodos de Análise

3.3.1. Nível Global

A técnica de Medições de Nível Global continua sendo o método mais rápido e prático para se detectar falhas em componentes.

Com um monitoramento contínuo do equipamento, pode-se notar qualquer variação no sinal coletado.

Trabalha-se com valores de RMS (valor eficaz ou valor médio quadrático).

Corresponde a raiz quadrada da média dos valores medidos em um intervalo de tempo ao quadrado.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

Ele não indica exatamente qual componente está em falha, necessitando assim de um método de análise mais preciso para isso.

A vantagem é que esta técnica permite coletarmos dados de uma gama maior de equipamentos, permitindo uma abrangência maior de monitoramento.

Outras técnicas, mais precisas, consomem mais tempo, inviabilizando um monitoramento maior.

Muitas empresas utilizam inicialmente as medições em Nível Global para poderem monitorar toda a abrangência de equipamentos. Notada alguma variação nos sinais, utilizam uma técnica mais precisa apenas nesses equipamentos.

Dessa forma consegue-se aplicar o princípio da Manutenção Preditiva, que é o constante monitoramento de equipamentos.

3.3.2. Análise Espectral

Com o intuito de diagnosticarmos a falha presente em um equipamento, utilizamos muitas vezes a análise de espectros, relacionando-se alguns componentes de frequência para isso.

Utilizamos as frequências mais significativas no espectro relacionando-se com os movimentos fundamentais (sendo normalmente harmônicos, e seus múltiplos, da frequência fundamental).

Para uma boa análise espectral, deveremos saber que as medidas de vibrações não são proporcionais apenas às forças aplicadas no ponto estudado, mas dependendo também da mobilidade da estrutura neste local.

Iremos exemplificar este fato, através da figura abaixo (retirada do manual 'Machine-Health Monitoring', Bruel & kjaer):

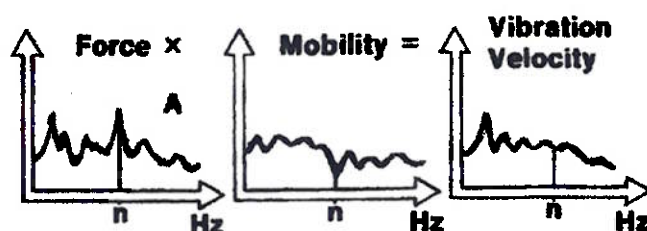


Figura 3.4: apresenta a relação entre a força, mobilidade e o resultado da velocidade de vibração

Na frequência (n) indicada na figura, a alta força do componente A que é contrariada por uma baixa mobilidade nesta mesma frequência, resultando em um baixo espectro de velocidade vibração (indicada na figura).

Este é um bom exemplo para evitarmos de dar atenção apenas aos espectros com picos de nível mais alto, pois os níveis mais baixos podem conter muitas informações muito úteis.

Caso notemos que o nível de vibração em um determinado ponto aumentar, poderemos afirmar que o nível de força aumentou no mesmo nível, pois as características de mobilidade das máquinas nem sempre mudam significativamente no tempo.

3.3.3. Análise de Envelope

Esta técnica é empregada quando se necessita analisar um sinal de um componente que se encontra mascarado e de difícil análise.

Ela é uma técnica muito aplicada na análise de vibrações em rolamentos (pista interna, pista externa, esfera, rolos, gaiola).

Como as frequências características coletadas de rolamentos são baixas, elas podem ser mascaradas por outros sinais de maior energia, podendo ser confundidas com problemas de desbalanceamento, desalinhamento ou folgas (possuem frequências próximas), dificultando seu diagnóstico.

Notamos que em altas frequências, as interferências sobre os sinais provenientes do rolamento diminuem, facilitando a sua análise.

A Análise de Envelope baseia-se neste princípio. Os sinais de alta frequência provenientes do rolamento são separados dos "ruídos" de baixa frequência

provenientes da máquina. Depois são levados para uma baixa frequência para serem vistos com maior nitidez. Todo esse processo é realizado eletronicamente.

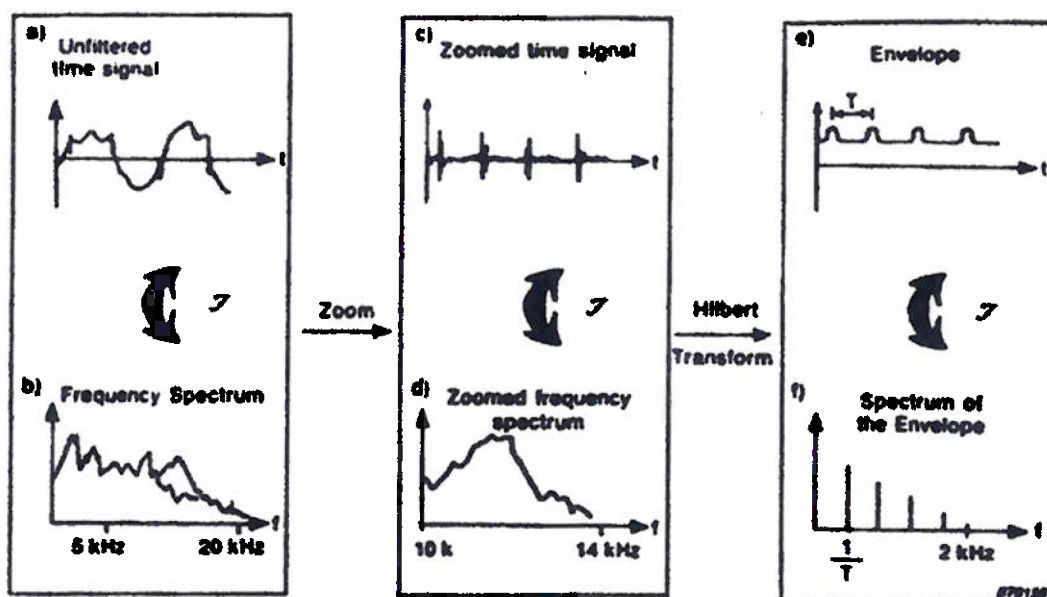


Figura 3.5: Descrição da Análise de Envelope (Bruel & Kjaer)

Abaixo indicaremos todo o procedimento da Análise Envelope:

1. Transdutor envia os sinais de vibração no domínio do tempo na caixa de rolamento para o amplificador (Figura 3.6 a);
2. Este espectro de frequência é obtido ao aplicarmos a Transformada de Fourier no sinal coletado (Figura 3.6 b);
3. Representa o sinal obtido após passagem pelo filtro passa banda alta, em torno da ressonância escolhida, modulada pela frequência de impacto (Figura 3.6 c);
4. Representa o espectro de frequência extraído com zoom sobre esta particular frequência (Figura 3.6 d);
5. É realizada a demodulação dos sinais em alta frequência provenientes do rolamento, que consiste basicamente da retificação dos sinais modulados e a consequente separação das frequências moduladoras (obtenção do sinal de envelope) (Figura 3.6 e);
6. O sinal de envelope é analisado quanto à frequência para verificação da frequência de impacto (Figura 3.6 f).

3.3.4. Crest Factory

Esta técnica analisa o crescimento do valor de pico e o crescimento do valor rms de um sinal coletado.

O aparecimento de uma falha no componente analisado, provoca um aumento maior no valor de pico, sendo possível a sua detecção.

O Fator de Crista (F_c) foi definido então como a razão entre o valor de pico e o valor rms do sinal analisado.

Dessa forma um aumento repentino neste fator indica uma presença de falha.

O fator volta a decrescer no final com a queda na impulsividade do sinal provocada pelo espalhamento da falha.

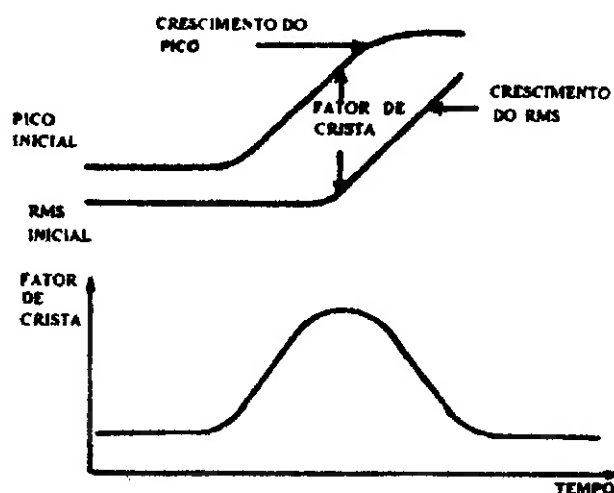


Figura 3.6: apresenta os sinais coletados em virtude de falha por Fator de Crista

3.3.5. Análise Cepstral

Esta técnica é muito útil pois permite visualizarmos apenas o espectro de interesse (frequência problema).

Existem casos em que essa análise é muito útil, como quando ocorrerem falhas que apresentam vibrações múltiplas de uma mesma frequência, mascaramento por ruídos.

O princípio desta técnica consiste na extração de harmônicos fundamentais de um espectro, analisando-se somente os elementos periódicos na frequência no domínio da Cepstra.

3.3.6. Spike Energy

É uma técnica utilizada para sinais em altas frequências e em choques de muita curta duração.

São importantes para a detecção de falhas em rolamentos, mancais e engrenagens.

Pode-se detectar vibrações resultantes de contatos metal-metal em máquinas rotativas, impactos e fricção além daquelas resultantes da detecção de cavitação de corrente turbulenta em fluidos, vapores em alta pressão e vazamentos de ar.

Não é recomendada a utilização única deste método para darmos o diagnóstico final de um equipamento, podendo ser complementada com medições de aceleração ou velocidade por exemplo, devido as leituras por esta técnica poder ser afetada por vários fatores.

Uma delas é o tipo de acelerômetro escolhido.

Como esta técnica depende dos sinais de alta frequência coletados pelo acelerômetro, uma variação das frequências de ressonância deste componente (que pode variar de modelo a modelo) pode resultar em uma mudança nos níveis obtidos pela técnica de Spike Energy.

Outro fator que pode prejudicar a técnica de Spike Energy é a localização do acelerômetro.

Os sinais de alta frequência podem ser atenuados (podem refletir em alguns componentes da máquina) até que eles atinjam o acelerômetro.

Uma falta de lubrificação ou utilização de lubrificantes inadequados ocasionando um aumento de fricção, vibrações provocadas por cavitação, ar a alta pressão, dentes de engrenagens impactos normais provocados por determinados equipamentos podem incrementar os valores em Spike Energy, podendo ocasionar falsas considerações.

3.4. Normas Utilizadas

3.4.1. Introdução

Para uma inicial avaliação de um equipamento, necessitamos tomar como base alguns valores comparativos com os primeiros dados coletados.

Podemos comparar esses dados com equipamentos semelhantes (que possuem a mesma potência, desempenham funções semelhantes, localizam-se em um mesmo ambiente, mesma fundação, etc), não possuindo a mesma confiabilidade.

Muitos comparam esses dados com as várias normas existentes, para se ter uma idéia inicial de como o equipamento está se comportando.

Tendo uma série de medidas já realizadas, um método mais confiável seria trabalhar estatisticamente esses dados e criar uma linha de referência (alarme) que indicaria quando algum ponto estaria fora da normalidade.

Inicialmente adota-se um nível de alarme como sendo:

$$\text{Alarme} = \text{Valor Médio} + (3 \times \text{Desvio Padrão})$$

Logicamente existem falhas em toda padronização, pois, nenhum equipamento está sujeito às mesmas condições de trabalho, mesmo sendo de igual modelo e operando no mesmo local.

Posteriormente, atualiza-se estes limites com a aquisição de mais dados, podendo-se determinar uma verdadeira linha de alarme para este equipamento.

3.4.2. Carta de Severidade proposta pela VDI 2056, ISO 2372, BS 4675

Iremos citar esta carta de severidade devido todas as outras serem semelhantes no seu uso e nível de detalhamento e devido esta ser a mais difundida.

A carta de severidade proposta pela VDI 2056, ISO 2372, BS 4675 propõe limites baseando-se na potência do motor e no tipo de fundação a que o equipamento está instalado.

Este critério está baseado no valor RMS de velocidade de vibração, analisando vibrações com frequências entre 10 a 1000 Hz.

Esta norma classifica os equipamentos e separa-os em grupos de acordo sua potência:

-Grupo K: são classificadas neste grupo, motores elétricos com até 15 KW de potência;

-Grupo M: compõe este grupo máquinas médias, com potência entre 15 a 75 KW, ou até 300 KW caso os equipamentos estiverem localizados em fundações especiais;

-Grupo G: os equipamentos que compõe este grupo são as grandes máquinas montadas em fundações rígidas e pesadas onde sua frequência natural excede a velocidade da máquina.

Mostraremos a carta de severidade proposta pela VDI 2056, ISO 2372, BS 4675 (retirada do manual 'Machine-Health Monitoring', Bruel & Kjaer).

Esta carta analisa o estado de cada grupo de equipamentos (Grupo K, Grupo M, Grupo G), em função dos valores de RMS de velocidade de vibração em milímetros por segundo ou em dB, dando-nos o estado não permissível, apenas tolerável, admissível, bom, conforme figura 3.8.

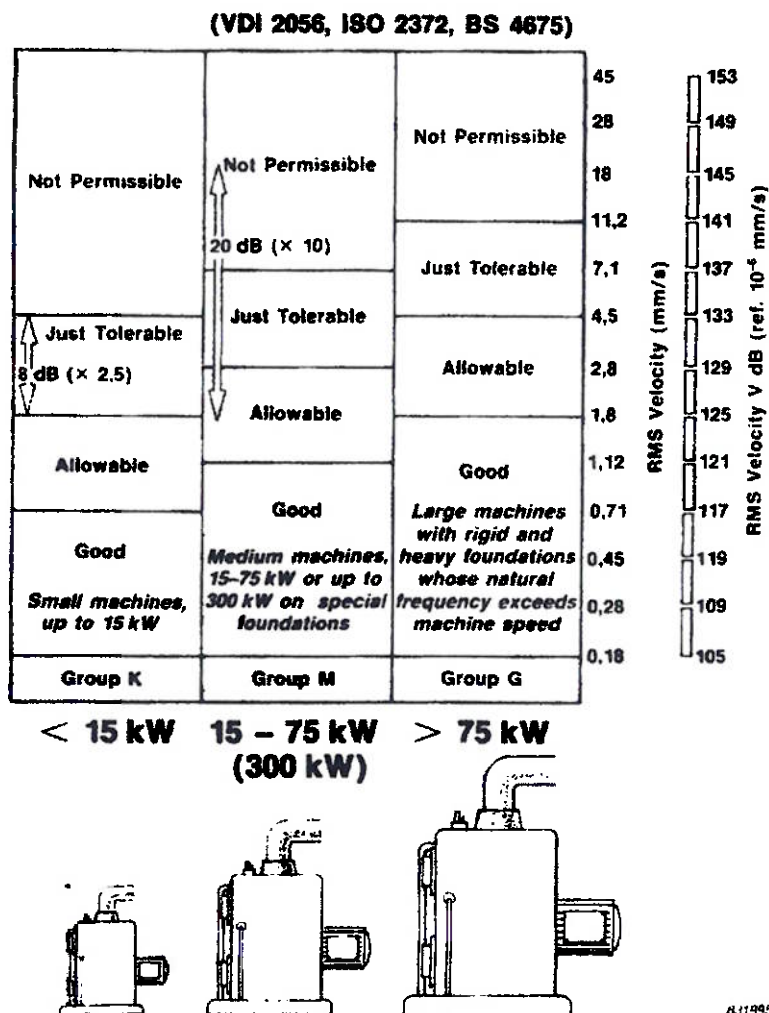


Figura 3.7: Carta de Severidade proposta pela VDI 2056, ISO 2372, BS 4675

3.5. Causas Comuns de Vibrações em Máquinas e Suas Frequências

3.5.1. Desbalanceamento

A frequência dominante para este tipo de defeito é igual à própria rotação.

As maiores amplitudes serão observadas na direção radial (horizontal ou vertical), podendo, em alguns casos, apresentar grandes valores na direção axial (rotores em balanço).

3.5.2. Desbalanceamento em Equipamentos Alternativos

A vibração causada por este desbalanceamento ocorre em uma frequência igual a 1, 2, 3, 4, etc, vezes a rotação.

As maiores amplitudes serão observadas na direção radial.

3.5.3. Eixo ou Acoplamento Fletido

Este tipo de problema pode ocorrer devido ação da temperatura.

Geralmente ocorre juntamente com o desbalanceamento.

As vibrações resultantes causam frequências dominantes como no desbalanceamento, que é igual a própria rotação.

Maiores amplitudes são verificadas na direção radial.

3.5.4. Eixo Trincado ou Assimétrico

Podemos identificar estes problemas quando as vibrações resultantes causam frequências dominantes proporcionais à sua rotação.

Maiores amplitudes são verificadas na direção radial.

3.5.5. Desalinhamento

O desalinhamento provoca o aparecimento de forças axiais e radiais, causando vibrações nas direções axial e radial.

Sua frequência de vibração pode ser uma vez a rotação.

Entretanto, caso o desalinhamento seja muito grande, a frequência pode ser 2 vezes a rotação (frequência de segunda ordem), ou 3 vezes a rotação (frequência de terceira ordem).

Pode ter suas características mascaradas pelos acoplamentos flexíveis.

3.5.6. Excentricidade

O desalinhamento provocado entre o eixo de rotação e o eixo geométrico do rotor provoca o aparecimento de vibrações.

Este desalinhamento pode provocar apenas um desbalanceamento.

Porém, ela pode originar forças reativas, não sendo possível corrigi-la com um simples desbalanceamento.

Sua frequência de vibração é uma vez sua rotação (RPM).

3.5.7. Mancais de Rolamento Danificados

Os defeitos podem aparecer em suas esferas, rolos ou pistas.

Sua frequência de vibração é alta, sendo várias vezes a velocidade de rotação do componente (não ocorrem em múltiplos da rotação do eixo).

Verifica-se maiores amplitudes na direção radial.

3.5.8. Mancais de Deslizamento com defeito

As vibrações podem ser originadas devido defeitos presentes nos mancais de deslizamento (devido ao desgaste ou corrosão) ou falhas no acoplamento com o eixo ou carcaça (podendo ser consequência da ação da temperatura ou forças centrífugas), ou por problemas de lubrificação.

Sua frequência de vibração pode ser metade ou um terço da sua rotação.

Como no caso anterior, as maiores amplitudes são verificadas na direção radial.

3.5.9. Folgas Mecânicas

Estes problemas podem ser gerados por exemplo por falhas existentes na estrutura, folgas nos mancais, sendo diretamente afetados pela temperatura e rotação.

Causam vibrações em frequências duas, três, etc, vezes sua rotação.

Maiores amplitudes são verificadas tanto na direção radial como axial.

Ela apenas aparece quando excitadas por outras fontes como desbalanceamento, desalinhamento, etc, podendo amplificar esses efeitos.

3.5.10. Agitação do Filme de Óleo (Whirl do Óleo)

É um problema relacionado também com mancais de deslizamento.

Ocorre apenas em mancais lubrificados com pressão e que operam em rotações relativamente altas.

Este fenômeno provoca uma ligeira pendência do eixo da máquina para um dos lados (devido distribuição desigual do filme de óleo).

Verifica-se maiores amplitudes na direção radial.

Este fenômeno pode ocorrer devido a ação da temperatura e propriedades do filme de óleo.

Sua frequência de vibração é 0,4 ou 0,5 vezes sua rotação.

3.5.11. Engrenagens

Os defeitos são devido principalmente ao desalinhamento de engrenagens, falta de lubrificação, engrenamento inadequado e engrenagens gastas ou com falhas.

As vibrações causam frequências que podem ser facilmente associados à estes problemas devido ocorrerem geralmente na frequência de engrenamento (número de dentes vezes a rotação da engrenagem defeituosa).

Verifica-se grandes amplitudes nas direções radiais e axiais.

3.5.12. Correias

As correias possuem alta capacidade para absorver choques e transmitir potência, mas também de transmitir qualquer outra excitação que receba.

Dessa forma, ela pode estar apenas transmitindo uma excitação recebida, não estando ela própria com defeito.

As vibrações originadas de defeitos em correias aparecem em frequências múltiplas da rotação.

Maiores amplitudes aparecem na direção radial.

3.5.13. Problemas Elétricos

Os problemas causados devido a problemas elétricos produzem vibrações com frequências uma ou duas vezes a frequência síncrona ou uma vez a rotação, portanto podendo ser confundido com problemas de desbalanceamento.

Podemos distinguir problemas de origem elétrica de mecânica, ao se cortar a potência elétrica.

Caso as vibrações desaparecerem no mesmo instante, ela será de origem elétrica, caso contrário, ela será de origem mecânica.

Os problemas elétricos são devido atuações de forças magnéticas indevidas sobre o rotor ou estator.

3.5.14. Ressonância

Deve-se evitar que a máquina vibre em frequências naturais de sua estrutura.

Pode-se alterar a frequência da força excitadora ou a frequência natural da estrutura, alterando sua massa ou rigidez equivalente.

3.5.15. Cavitação ou Turbulência

Quando ocorre a presença de cavitação ou turbulência, a vibração resultante é aleatória, não podemos determinar sua frequência característica.

Normalmente ocorre um acréscimo em frequência médias e altas (0,5 a 10 Hz).

3.5.16. Pás, Lâminas, Tubos e Guias danificadas

As reações destes componentes frente ao fluxo de fluido produzem uma vibração com uma frequência proporcional ao número destes componentes (o número de pás do rotor vezes sua rotação).

3.6. Gerenciamento da Manutenção Preditiva

3.6.1. Classificação dos Equipamentos

É imprescindível uma boa classificação por prioridades de todos os equipamentos que serão monitorados.

Este levantamento servirá como base na elaboração de Rotas dos Equipamentos.

Primeiramente deveremos identificar claramente os equipamentos (matrícula), fornecendo o tipo de máquina e sua localização no campo.

Isso irá facilitar na rastreabilidade do processo de monitoração dessas máquinas.

Nem sempre poderemos monitorar todos os equipamentos com a mesma periodicidade e precisão.

Uma forma que facilita nas decisões é classificarmos os equipamentos segundo sua criticidade quanto ao processo produtivo.

Abaixo apresentamos uma classificação proposta pela ABB (ASEA BROWN BOVERI):

CRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS SEGUNDO CRITICIDADE NO PROCESSO PRODUTIVO:

A... são equipamentos que quando submetidos a uma condição de falha ou defeito:
a) interrompem o processo produtivo imediatamente ou dentro de um período cuja intervenção corretiva seja de intervalo maior que o pré-determinado por estoque intermediário entre células de produção ou, b) afetam a qualidade final do produto. Sua programação de manutenção deve ser rigorosamente cumprida.

B... são equipamentos que quando submetidos a uma condição de falha ou defeito:
a) reduzem o volume padrão de produção, b) podem ser parados para uma intervenção corretiva por terem um estoque intermediário entre células de produção superior ao da intervenção ou, c) por terem um equipamento redundante no processo (stand-by). Sua programação de manutenção deve ser executada dentro de um período de tolerância que permita otimização dos tempos produtivos do equipamento (ex: paradas programadas).

C... são equipamentos que não participam do processo produtivo diretamente (são secundários ao processo) e cuja parada não afeta o fluxo de produção. Sua programação de manutenção deve ser executada somente em condições de custos favoráveis (ex: durante paradas gerais ou programadas).

EFEITOS DE OCORRENCIA DE UMA FALHA OU DEFEITO EM EQUIPAMENTOS						
CLASSE	afetam a qualidade do produto final	o tempo medio p/ intervençao corretiva é MAIOR que o tempo de consumo do estoque intermediario	o tempo medio p/ intervençao corretiva é MENOR que o tempo de consumo do estoque intermediario	o volume padrao de produçao fica reduzido	tem um equipamento stand-by no processo	nao para o processo produtivo (é secundario)
A	X	X		X		
B			X	X	X	
C						X

↑ OTIMIZAR TEMPOS PARADOS
 ↓ OTIMIZAR CUSTOS DE MANUT.

Figura 3.8: Critério Para Classificação de Equipamentos Segundo Criticidade No Processo Produtivo (ABB)

O Cronograma de Medições também será baseada nesta classificação, coletando-se dados com maior periodicidade em equipamentos de maior criticidade (equipamentos classe A).

3.6.2. Determinação de Rotas dos Equipamentos

A determinação das rotas dos equipamentos são realizadas visando agrupar equipamentos de mesma cadência de medidas, em locais próximos, localizadas em um mesmo sistema de produção, mas principalmente levando-se em consideração a otimização no tempo de coleta de dados.

3.6.3. Cronograma de Medições

A elaboração de um bom Cronograma de Medições é o primeiro passo para se ter uma manutenção organizada e eficiente.

Geralmente ele é baseado em Rotas dos Equipamentos, podendo ser organizada de forma semestral, trimestral, mensal, de forma que melhor se organize a coleta de dados.

Deve-se levar em conta a disponibilidade dos técnicos, adequando seus calendários de melhor forma possível.

Cada técnico responsável pela coleta de dados, deve receber seu próprio calendário (cronograma) de medições.

O Cronograma de Medições deve conter dados que permitam a perfeita compreensão dos serviços a serem executados sem deixar qualquer margem de dúvidas.

Primeiramente deve-se fornecer o nome do executante (técnico).

O equipamento a ser monitorado deve ser bem definido (pode-se dar seu número de matrícula por exemplo), assim como sua localização (área seção) e a rota pertencente.

A seguir, deve-se definir o período de medidas (por exemplo, na primeira semana do mês), com a respectiva cadência (mensal, bimestral, etc).

Podemos associar a cada medição de um equipamento realizado, um número de referência, para uma melhor rastreabilidade.

O Cronograma deve conter campos em branco representativos dos períodos de medições (por exemplo, indicando as quatro semanas de um mês), para que se possa indicar as medições realizadas e as que não foram feitas.

Uma variação muito interessante pode ser já a indicação do estado do equipamento, no lugar de apenas indicar a medição realizada.

3.6.4. Ordem de Serviço

As Ordens de Serviço são antes de mais nada, elementos chave no gerenciamento da manutenção.

Através das Ordens de Serviço, podemos formar um histórico de quebras de uma máquina auxiliando no diagnóstico de causas de falha.

Desta forma poderemos realizar um levantamento estatístico de quais as áreas da indústria que mais exigiram intervenções (pelo número de Ordens de Serviço emitidas) e principais causas de quebra.

Com isso poderemos direcionar o campo de atuação, tentando minimizar os problemas das áreas mais críticas.

Todo esse processo se inicia através da elaboração de uma Ordem de Serviço bem estruturada e completa.

Inicialmente deve-se ter a identificação de cada Ordem de Serviço, para o cadastro de cada uma, formando assim um histórico, facilitando sua rastreabilidade.

Ela deve definir claramente os Interessados e os Executantes.

Deve, também, descrever claramente os equipamentos a serem inspecionados (dando sua matrícula) com sua localização e os pontos que deverão ser monitorados, indicando as variáveis a serem coletadas.

Por exemplo, a matrícula de um motor poderia ser AM-5036 (modelo seguido pela Rhodia).

AM indicaria que o equipamento seria um motor e os números indicariam o seu número de cadastro.

Muitas indústrias utilizam este método para cadastrar seus equipamentos, definindo assim sua matrícula.

Seria um R.G. (Registro Geral) do equipamento.

Os pontos de medida também podem seguir um determinado padrão.

Exemplificamos através do trabalho técnico feito pelo Engenheiro Carlos Henrique Fagundes ('Dez Passos Para Implantação de um Sistema de Manutenção Preditiva e Mais Cinco Para Aperfeiçoá-lo') o seguinte modelo para localização de pontos (modelo também adotado pela Rhodia):

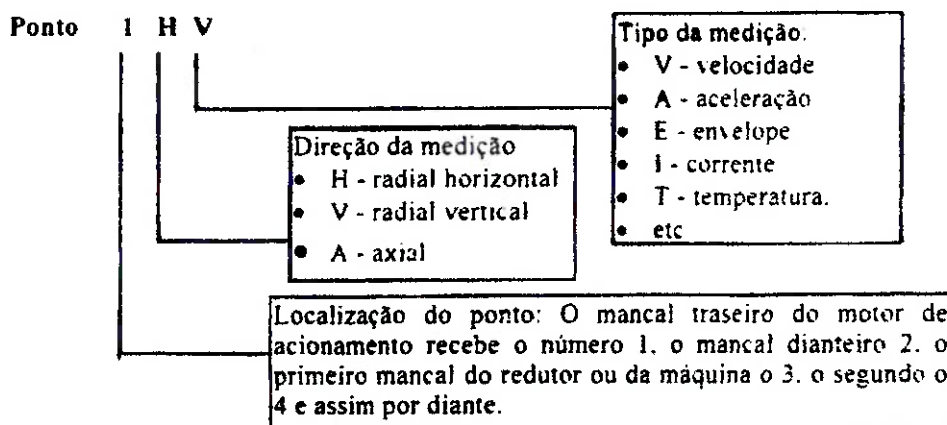


Figura 3.9: identificação dos pontos de medição (C. H. Fagundes)

A figura 3.10 indica um exemplo de ordem de trabalho (retirada da Fairway Filamentos S.A.) que contém também uma figura indicativa da localização da sequência de pontos em um equipamento.

Deve existir também uma padronização para coleta de dados e na apresentação dos resultados obtidos.

Ajudando em uma possível consulta posterior.

A facilidade na indicação da situação encontrada com suas possíveis causas e defeitos, bem como as recomendações a serem tomadas também são de grande valia, pois tudo isso contribui para uma maior otimização no tempo de preenchimento de campo.

Um dos principais itens que deve estar presente em todas as Ordem de Serviço é a verificação dos serviços executados.

Desta forma podemos ter um completo controle sobre todas intervenções realizadas e aquelas que ainda estão pendentes.

O volume de dados coletados e processados é muito grande, ficando viável integrar esse sistema em um sistema informatizado.

A boa estruturação, além de permitir uma melhor organização, possibilita-nos a ligação com a informática.

FAIRWAY
PREDITIVA - ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

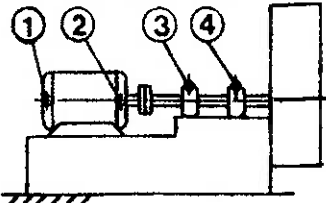
DTM - / /

REF ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

1 - Pontos de Medição

Matriculas

INTERESSADOS:



Pontos de Medição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recomendações										
A - NORMAL										
B - BALANCEAR										
C - SUBSTITUIR ROLAMENTO										
D - TROCAR CORREIAS										
E - VERIF ACOPLAMENTO										
F - VERIF ALINHAMENTO										
G - REVISAR MOTOR										
H - VERIF FIXAÇÃO										
I -										

2 - Observações.

Técnico - R 2375

[Signature]

Coordenador - R 2375

(ESTA PARTE DEVE SER PREENCHIDA PELO EXECUTANTE E DEVOLVIDA A PREDITIVA.)

DTM - / /

() REVISADO CONFORME SOLICITADO	() CORREIAS SUBSTITUIDAS	() MOTOR REVISADO
() BALANCEADO CONFORME SOLICITADO	() ACOPLAMENTO REPARADO	() FIXAÇÃO CORRIGIDA
() ROLAMENTOS SUBSTITUIDOS	() EFETUADO ALINHAMENTO	() GAXETAS SUBSTITUIDAS

3 - Serviços executados _____

DATA ____/____/____ Executante _____ Ramal _____

Figura 3.10: exemplo de ordem de serviço (elaborada pela Fairway, Santo André)

Todas as informações contidas nesta Ordem de Serviço devem estar dispostas de forma clara e de fácil entendimento.

4-Critérios de Avaliação das Unidades

4.1. Abrangência dos Equipamentos analisados

Abaixo iremos mostrar a abrangência dos equipamentos monitorados pela Manutenção Preditiva - Análise de Vibrações em cada unidade de estudo, indicando o número de pontos que devem ser monitorados e o número de pontos com bases rosqueadas e o número de pontos com bases magnéticas.

4.1.1. Usina Química de Santo André

Abrangência dos equipamentos monitorados:

- Ventiladores: 40;
- Bombas: 208;
- Compressores: 12;
- Outros: 57.

Possui um total de 317 equipamentos rotativos e 3308 pontos de monitoramento.

- Bases rosqueadas: nenhum;
- Bases magnéticas: todos os pontos são de bases magnéticas.

4.1.2. Usina Química de Paulínia

Abrangência dos equipamentos monitorados:

- Ventiladores: 66;
- Bombas: 1151;
- Compressores: 56;
- Turbo Gerador: 3;
- Outros: 43.

Possui um total de 1319 equipamentos rotativos e 9773 pontos de monitoramento.

- Bases rosqueadas: 3 % do total de pontos de coleta.
- Bases magnéticas: 97 % do total de pontos de coleta.

4.1.3. Fairway - Santo André

Abrangência dos equipamentos monitorados:

- Ventiladores: 150;
- Bombas: 304;

- Compressores: 36;
- Turbo Gerador: 3;
- Máquinas Têxteis: 33;
- Outros: 104.

Possui um total de 650 equipamentos e 7600 número de pontos.

- Bases rosqueadas: 0,5% do total de pontos de coleta, sendo todos em equipamentos prioritários;
- Bases magnéticas: 99,5% do total de pontos de coleta.

4.1.4. Análise dos resultados

Como podemos notar existem grandes semelhanças na abrangência dos equipamentos monitorados nas unidades a serem analisadas, composto na sua maioria por ventiladores, bombas e compressores, o que irá facilitar neste trabalho comparativo.

Outro fato importante que pode ser abordado seria com relação às bases dos pontos de coleta de dados.

Equipamentos rotativos em que as frequências de rotação de seus componentes superem o valor de 1000 Hz, seria necessário, para uma coleta de dados mais confiável, possuir pontos de coleta de dados com bases rosqueadas ao invés de bases magnéticas.

O que se pôde notar é que a Usina Química de Santo André não possui equipamentos com pontos de coletas de dados com bases rosqueadas, apesar de possuir equipamentos que necessitem destes tipos de bases.

Mesmo as outras unidades (Fairway e Usina Química de Paulínia), possuem uma quantidade muito baixa de pontos com bases rosqueadas (0,5% e 3%, respectivamente).

4.2. Efetivo de cada unidade

O efetivo de manutenção é composto, além dos funcionários da própria empresa, também pelos funcionários de empresas contratadas, chamados de prestadores de serviço, que auxiliam na manutenção dos equipamentos.

A empresa Rhodia S.A. possui atualmente (jun/97) um efetivo próprio de 6456 funcionários dos quais 11,6% (751 funcionários) são dedicados à manutenção industrial.

Abaixo iremos detalhar o efetivo de cada unidade estudada.

4.2.1. Usina Química de Santo André

Esta unidade possui um efetivo próprio de 31 funcionários e um efetivo de prestadores de serviço de 24 pessoas.

Levando-se em conta apenas o efetivo próprio de manutenção, ele equivale a 6,78% do efetivo total próprio da unidade.

Possui uma equipe formada por um técnico (próprio) para manutenção preditiva-análise de vibrações.

4.2.2. Usina Química de Paulínia

Esta unidade possui um efetivo próprio de 174 funcionários e um efetivo de prestadores de serviço de 172 pessoas.

Considerando-se o efetivo próprio de manutenção, isto corresponde a 15,26% do efetivo total da unidade.

A equipe de manutenção preditiva - análise de vibrações é formada por 5 técnicos.

4.2.3. Fairway - Santo André

Esta unidade possui um efetivo próprio de 191 funcionários (correspondendo a 10,51% do efetivo próprio total da unidade) e um efetivo de prestadores de serviço de 80 pessoas.

Analisando-se a área de manutenção preditiva - análise de vibrações, esta unidade possui uma equipe de Manutenção Preditiva composta por 6 técnicos (sendo 4 efetivos próprios e 2 prestadores de serviço) atuando.

4.2.4. Análise dos resultados

Através do trabalho técnico feito pelo Engenheiro Carlos Henrique Fagundes (“Dez Passos Para Implantação de um Sistema de Manutenção Preditiva e Mais Cinco Para Aperfeiçoá-lo”) podemos ter uma base se a equipe de manutenção encontra-se com um efetivo razoável.

Ele adota o seguinte critério: em média, um técnico experiente mede cerca de 250 pontos em um dia; sendo que necessita de mais um dia para se analisar os dados coletados. Levando-se em conta que em um mês existem 22 dias, pode-se, através de uma análise proporcional, supor o número de pessoas necessárias em uma equipe:

$$\text{N}^\circ \text{ pessoas} = N / 2750$$

Sendo:

N - número de pontos a serem medidos em um mês.

Dessa forma pode-se ter uma noção de como estão as equipes de manutenção nas unidades.

Através desta análise, resultou no seguinte número de pessoas que uma equipe necessita em cada unidade, podendo-se notar pela tabela 4.1.

Unidade	Equipe na Unidade	Equipe (teórico)
UQSA	1	1,2
UQP	5	3,6
FAIRWAY	6	2,8

Tabela 4.1: Comparativo entre a equipe na unidade e equipe teórica

Pôde-se notar que apenas a Usina Química de Santo André possui uma equipe com um número menor de pessoas (1 pessoa contra 1,2 pessoas), podendo-se dessa forma refletir no tipo de manutenção aplicada na unidade, devido a manutenção preditiva ser uma manutenção baseada nas condições do equipamento, necessitando dessa forma de um monitoramento “constante”.

Com uma equipe formada por um número reduzido de pessoas, o monitoramento de toda abrangência dos equipamentos se torna mais difícil, sendo refletido em uma porcentagem menor de manutenção preditiva aplicada na unidade.

Outras unidades previstas possuem equipes com um número de pessoas superior ao teórico previsto.

4.3. Instrumentos utilizados

Abaixo iremos mostrar os principais recursos disponíveis em cada unidade.

4.3.1. Usina Química de Santo André

Principais recursos disponíveis pela equipe de Manutenção Preditiva:

- 1 Coletor de dados SKF CMVA-10;
- 1 Software preditiva PRISM 2;
- 1 Analisador de vibração B&K 3517;
- 1 Medidor de vibração nível global B&K 2513;
- 1 Coletor de dados PSION;
- 1 Lâmpada estroboscópica;
- 1 Tacômetro digital;
- 2 Medidores temperatura (sendo 1 o Radiômetro Raytec PM4);
- 1 Alinhador a laser, SKF CombiLaser.

4.3.2. Usina Química de Paulínia

Recursos disponíveis:

- 2 Coletores de dados CSI Modelo 2110 (coleta e análise de espectros de vibração no campo, medições de temperatura e corrente elétrica);

- 1 Coletor de dados CSI Modelo 2115;
- 1 Estroboscópico CSI;
- 2 Termômetros digitais Omega HH-23;
- 1 Software Master Trend CSI para análise de vibração e balanceamento de campo;
- 1 Software Expert System CSI Master Trend Plus;
- 1 Micro PC 386 SX para análise vibração e apoio ferrografia;
- 1 Micro PC 486 DX2 para Análise Vibração;
- 1 Software de Análise Corrente Elétrica de Motores;
- 1 Alinhador a laser, SKF DigiLaser (Oficina Mecânica).

4.3.3. Fairway

Recursos disponíveis:

- 4 Coletores de dados SKF CMVA 10 (curvas de tendência, análises espectrais, técnica de envelope, medições de temperatura e corrente elétrica);
- 1 Analisador de vibrações B&K 2515 (análise espectral de vibrações);
- 1 Gravador Panasonic VS 255 (DAT) (coleta de dados em campo para posterior análise);
- 1 Tacômetro TEC (laser);
- 2 Tacômetros estroboscópico SKF;
- 2 Termopen SKF: canetas que medem temperatura;
- 2 Conjuntos Termopares Digitais SKF TDM;
- Acessórios diversos para coletores de dados: acelerômetros, cabos, baterias, cabos de comunicação, temporizadores, etc;
- 1 Radiômetro Raytec PM 4;
- 7 Softwares (SKF) para gerenciamento de dados e análise;
- Rede Novell;
- 3 Micros PC 386;
- 1 Micro PC 486;
- 1 Micro PC 486 - Servidor Rede;
- Contador de partículas de desgaste em óleos lubrificantes e sistemas hidráulicos PCM Diagnetcs;
- 1 Alinhador a laser, SKF CombiLaser.

4.3.4. Análise dos resultados

Como podemos notar, a Usina Química de Paulínia não utiliza o mesmo software e nem o mesmo coletor de dados (isto é, o mesmo fornecedor) que as outras unidades estudadas.

A uniformidade dos equipamentos e softwares utilizados facilitaria no caso de troca de experiências, conhecimentos e técnicas, o que, teoricamente, seria uma fonte de discussão para se obter um melhor aproveitamento dos equipamentos em mãos, não que este seja um fator determinante para um bom desempenho.

Um dos fatos positivos e de grande integração e troca de experiências que é feita na empresa, é o fato de existirem a cada dois anos os Seminários Rhodia de Manutenção Industrial, onde são apresentados seminários de trabalhos relacionados à área. Estes seminários são realizados desde 1991 com participação de todas unidades do grupo.

4.4. Sistema Informatizado de Gerenciamento de Manutenção

O SIGEMAN (Sistema de Gerenciamento de Manutenção) é um sistema que foi desenvolvido para facilitar e otimizar o processo de gerenciamento de manutenção.

Eliminando-se o uso de papéis, a informática começou a se tornar importante parceira neste processo.

O software SIGEMAN integra os vários “campos” da manutenção, como equipamentos, postos de serviço, pedido de manutenção, vale de trabalho e recursos, sendo todo este processo informatizado. Através deste banco de dados, visava-se uma melhoria nas informações para realização dos trabalhos.

Abaixo iremos explicar cada campo desse software.

No item Equipamentos, tem-se no banco de dados, campos referentes a dados técnicos, componentes, peças reservas, histórico, localização, custo de manutenção (mão-de-obra, serviços, materiais), análise de falhas.

Em Vale de Trabalho (Ordem de Serviço), tem-se campo de dados referentes a definição das tarefas e fases, procedimentos de segurança, apropriação de custos (mão-de-obra, materiais, serviços).

Analisando-se os Postos de Serviço, os campos de dados a serem preenchidos são sobre processo de fabricação, condições de operação, dados do produto, segurança, histórico, lubrificação, plano de preventiva, custos de manutenção.

Com relação a Gestão de Recursos, pode-se através do SIGEMAN atuarmos nas áreas: mão-de-obra e materiais.

Pode-se desta forma identificar as necessidades e disponibilidades de mão-de-obra, recursos de apoio e serviços externos. Pode-se alocar automaticamente a mão-de-obra com a determinação das tarefas e fases alocadas, definindo-se a programação diária, dinâmica e nas paradas de instalação (análise do tempo de atividade pela técnica do caminho crítico, com otimização e distribuição, permitindo simulações e reprogramações).

Com relação aos materiais, define a disponibilidade das peças e equipamentos em estoque e reserva, controla a emissão e requisições de compras e também a inspeção dos materiais que entram no estoque.

E por último o Pedido de Manutenção, que compreende a solicitação de manutenção, andamento (status) do pedido, definição de prioridades, geração dos vales de trabalho (ordens de serviço), aceite de manutenção/fabricação.

Outro ponto que se deve salientar é que o SIGEMAN pode ser acessado por todos os interessados em uma intervenção, sendo dessa forma, informados da situação de qualquer pedido de manutenção e dos trabalhos que lhes interessam, objetivando dessa forma uma agilidade e economia de tempo.

Todo esse processo teve como objetivo melhorar a qualidade e otimizar os serviços de manutenção, com um banco de dados com informações técnicas, procedimentos e materiais e principalmente um histórico das intervenções, esperou-se

uma maior rapidez no atendimento de serviços e também em todo seu processo de gerenciamento.

4.4.1. Análise dos resultados

Como projeto de implantação do novo sistema, inicialmente foi feito um treinamento sobre a utilização do software, por uma empresa de informática contratada, em cada unidade.

Passados aproximadamente 6 anos após sua implantação nas unidades, podemos notar quais foram os resultados obtidos.

O SIGEMAN foi implantado na Usina Química de Paulínia em 1991.

Como o próprio informativo sobre o sistema especificava, “O êxito do SIGEMAN implica adesão e motivação de cada um”.

Todo sistema informatizado não consegue pensar sozinho. Ele necessita sempre que os dados sejam fornecidos, alimentando-se sempre o sistema.

Na Usina Química de Paulínia este software é amplamente utilizado (os campos Equipamentos, Vale de Trabalho, Postos de Serviço, Pedido de Manutenção, Recursos).

O “campo” Equipamentos possui todos dados técnicos sobre componentes, peças de reserva, localização.

O “campo” Pedido de Manutenção também é amplamente utilizado com a solicitação do que fazer e onde fazer, com definição de prioridades e geração de vales de trabalho.

O “campo” Vale de Trabalho é o que deixa um pouco a desejar.

O vale de trabalho é sempre associado ao pedido de manutenção, que é verificado toda manhã.

São definidos a mão-de-obra, materiais, mas nem sempre os serviços executados.

Uma das principais fontes para se diagnosticar o estado de um equipamento é exatamente a partir do histórico.

Um histórico completo, confiável e de fácil e rápido acesso é exatamente um dos objetivos mais importantes do SIGEMAN.

Talvez um melhor detalhamento visando a criação de um histórico mais completo, poderia criar um banco de dados muito mais confiável.

No caso da Fairway, o SIGEMAN também é muito importante.

O SIGEMAN foi implantado na Fairway em 1993.

Todo este processo informatizado foi de grande utilidade para esta unidade, pois trouxe um controle mais preciso de todo o gerenciamento de manutenção.

Os “campos” Equipamentos, Postos de Serviço, Recursos, Pedido de Manutenção acima descritos são amplamente explorados, possuindo todas informações devidamente cadastradas.

Talvez o único campo que poderia ter alguma melhora fosse o Vale de Trabalho.

Apesar da definição das tarefas e fases (como fazer), procedimentos de segurança, apropriação de custos (mão-de-obra, materiais e serviço), o sistema peca devido os dados sobre o tipo de intervenção feita no equipamento, ser opcional.

Desta forma, o histórico de intervenção (também) nem sempre é muito detalhado.

Tanto na Fairway como na Usina Química de Paulínia, este controle é feito paralelamente ao SIGEMAN, possuindo controle de relatórios (ordem de serviço) emitidos e também dos serviços executados (este tópico irá ser detalhado mais adiante).

Caso o histórico de intervenções no SIGEMAN fosse totalmente preciso (isto é, caso houvesse uma alimentação de dados adequada), não haveria a necessidade de um acompanhamento paralelo.

Qualquer busca poderia ser realizada com maior rapidez.

Na Usina Química de Santo André poderemos notar a mesma situação.

Os “campos” Equipamentos, Postos de Serviço, Recursos e Pedido de Manutenção sendo amplamente desenvolvidos, não sendo possível notar a mesma situação com relação ao “campo” Vale de Trabalho.

Este controle também é feito paralelamente ao SIGEMAN, possuindo controle de relatórios e serviços executados.

Deveria-se ter um maior intercâmbio entre as unidades, visando-se uma troca de informações o que poderia acarretar em uma utilização maior de todos os recursos deste software.

Outro fator limitante nos dias atuais, seria com relação à constante evolução da micro-informática.

Na era da informática, a adaptação significa sobrevivência.

O SIGEMAN é um software muito eficiente em termos de banco de dados e sua utilização, mas possui uma certa limitação com relação a adaptação a novos ambientes, como por exemplo Windows, o que iria facilitar muito na confecção de relatórios.

4.5. Método de Coleta/Análise de dados

4.5.1. Critérios adotados para classificação dos equipamentos

4.5.1.1. Usina Química de Santo André

Abaixo iremos mostrar os critérios adotados para classificação dos equipamentos nesta unidade:

-Equipamentos Prioritários: correspondem a 15% da abrangência dos equipamentos monitorados, incluindo ventiladores, compressores e bombas;

-Equipamentos Importantes: correspondem a 60% da abrangência dos equipamentos monitorados, incluindo redutores (reatores) e bombas ligadas diretamente ao processo;

-Equipamentos Normais: são classificados como Equipamentos Normais, as bombas de posto duplo e redutores simples, correspondendo a 25% do total de equipamentos monitorados.

Para a classificação destes equipamentos em cada um destes grupos, foram levados em conta, os seguintes critérios:

- Prioridade da fábrica;
- Danos na produção, paradas;
- Complexidade;
- Alto custo de manutenção.

4.5.1.2. Usina Química de Paulínia

Os critérios adotados para classificação dos equipamentos prioritários são os seguintes:

- Parada do equipamento causa perda de produção;
- Experiência dos Supervisores de Manutenção e Planejamento, Inspetores de Vibração em relação a criticidade do equipamento;
- Custo de manutenção;
- Comportamento dos equipamentos em vibração baseado na curva de tendência.

Abaixo iremos definir as classes existentes:

- Grupo I: equipamentos de grande porte ou de acordo com custos parada;
- Grupo II: equipamentos classificados de acordo com determinados custos de parada;
- Grupo III: equipamentos complexos para análise de vibração e de acordo com custos de paradas;
- Grupo IV: equipamentos classificados de acordo com custos de intervenção;
- Grupo V: equipamentos com subsequências rapidamente reparáveis e experiência de Supervisores e Planejamento;

4.5.1.3. Fairway

Esta unidade adota os seguintes critérios para classificação dos equipamentos.

- Classe A: Equipamento de alto custo de manutenção e/ou acarreta perda de produção (compressores de ar e frigoríficos, turbo-bomba, turbo-ventiladores, bombas de alimentação caldeira, ventiladores de caldeira e turbo-geradores);
- Classe B: Possibilidade de perda de produção (período curto para intervenção) e/ou perda parcial da produção (ventiladores, bombas centrífugas, máquinas têxteis, compressores tipo roots, geradores);
- Classe C: Equipamento de baixo custo de manutenção e/ou não acarreta perda de produção (bombas centrífugas).

4.5.1.4. Análise dos Resultados

As unidades possuem equipamentos classificados principalmente de acordo com a prioridade da fábrica, experiência dos Supervisores, custo de manutenção e complexidade dos equipamentos.

Mais uma vez, poderia-se através de um intercâmbio maior, tentar-se uma maior uniformização dos grupos de classificação dos equipamentos.

Pode-se notar que, enquanto a Usina Química de Santo André e a Fairway possuem equipamentos classificados em 3 grupos, a Usina Química de Paulínia possui equipamentos classificados em 5 grupos. Não que isso acarrete na qualidade dos equipamentos monitorados, mas pode-se facilitar em uma possível troca de informações entre as unidades (as unidades irão saber exatamente sobre qual grupo de equipamentos estarão falando, e sobre qual equipamentos compõem estes grupos).

4.5.2. Técnicas utilizadas para coleta e tratamento de dados

4.5.2.1. Usina Química de Santo André

As técnicas utilizadas são de acordo com a respectiva classificação dos equipamentos:

- Equipamentos Prioritários: utiliza-se técnicas de envelope e espectro;
- Equipamentos Importantes: utiliza-se técnicas de envelope e espectro;
- Equipamentos Normais: utiliza-se apenas níveis globais.

Os níveis de alarme a princípio são definidos de acordo com a norma ISO 2372, mas dependendo do histórico do equipamento, são traçados níveis de alarme específicos.

4.5.2.2. Usina Química de Paulínia

Normalmente é coletado apenas o nível global.

Caso o alarme de nível global seja ultrapassado, os espectros e formas de onda são automaticamente armazenados no coletor. A técnica de envelope é utilizada em alguns pontos específicos.

Abaixo iremos apresentar as técnicas utilizadas para análise de dados nesta unidade para cada grupo:

-Grupo I: monitora-se todos os pontos de medição, através da análise ferrográfica, temperatura e parâmetros operacionais;

-Grupo II: monitora-se todos os pontos de vibração, parâmetros operacionais e temperatura;

-Grupo III: monitora-se todos os pontos de vibração, parâmetros operacionais e temperatura;

-Grupo IV: monitora-se todos os pontos de vibração e parâmetros operacionais;

-Grupo V: monitora-se 1 ponto de vibração por equipamento definido através do histórico de vibração;

Os equipamentos novos são enquadrados conforme norma VDI 2056.

Para equipamentos de grande porte, os níveis de alarme são definidos conforme histórico de vibração (em função dos valores médios de amplitude de cada ponto do equipamento).

4.5.2.3. Fairway

São utilizadas nesta unidade, por exemplo para equipamentos menos complexos (como bombas, motores, ventiladores, etc) são utilizadas as técnicas de nível global, espectro em velocidade e técnica de envelope, em equipamentos mais complexos (como por exemplo o compressor frigorífico ou de ar) são utilizadas, além das técnicas anteriores, as técnicas de aceleração RMS, envelope utilizando mais um filtro, espectro no domínio do tempo, medição de corrente, temperatura e parâmetros de processo.

Os níveis de alarme são definidos abaixo:

-Alarme 1: Média + 1,5 x (Desvio Padrão)

-Alarme 2: Média + 3 x (Desvio Padrão)

Inicialmente, adota-se os alarmes de um equipamento semelhante, que apresenta aproximadamente mesma rotação, possuindo pontos de coleta de dados localizados em pontos próximos ou semelhantes e que apresentem condições de operação semelhantes.

Além disso utiliza-se também a norma ISO 2373 para auxiliar neste monitoramento inicial.

4.5.2.4. Análise dos resultados

De uma forma geral, todas as unidades analisadas possuem técnicas semelhantes de coleta e análise de dados, como técnicas de nível global, espectro em velocidade, e técnica de envelope e técnicas de aceleração RMS.

A Usina Química de Paulínia utiliza-se também da análise ferrográfica e também de temperatura.

A Fairway utiliza-se também da análise ferrográfica e de temperatura além de envelope utilizando mais um filtro, medição de corrente e parâmetros de processo.

Como podemos notar, a Usina Química de Paulínia e a Fairway preocupam-se em uma análise mais detalhada do estado da máquina, proporcionando desta forma, maiores possibilidades em se avaliar o estado real das máquinas.

4.5.3. Periodicidade de coleta de dados

4.5.3.1. Usina Química de Santo André

A periodicidade depende da classificação dos equipamentos:

- Equipamentos Prioritários: medição semanal;
- Equipamentos Importantes: medição mensal;
- Equipamentos Normais: medição mensal.

4.5.3.2. Usina Química de Paulínia

Como vimos, esta unidade possui 5 classes de equipamentos:

-Grupo I: realiza-se a ferrografia a cada 30 dias e a análise de vibração também a cada 30 dias, intercalando-as, conforme tabela 4.2;

-Grupo II: a frequência fica definida em 30 dias para análise de vibração e semanalmente para temperatura, conforme tabela 4.2;

-Grupo III: a frequência fica definida em 45 dias para análise de vibração e quinzenalmente para temperatura, conforme tabela 4.2;

-Grupo IV: monitora-se todos os pontos de vibração e parâmetros operacionais. A frequência fica definida em 45 dias para análise de vibração, de acordo com a tabela 4.2;

-Grupo V: a frequência de acompanhamento fica definido em 45 dias, conforme tabela 4.2.

GRUPO	FREQUÊNCIA	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7
I	30 dias	V+PO+T	VA+T	F+VA+T	VA+T	V+PO+T	VA+T	F+VA+T
II	30 dias	V+PO+T	VA+T	VA+T	VA+T	V+PO+T	VA+T	VA+T
III	45 dias	V+PO+T	VA	VA+T	VA	VA+T	VA	V+PO+T
IV	45 dias	V+PO+T	VA	VA	VA	VA	VA	V+PO+T
V	45 dias	V+PO+T	VA	VA	VA	VA	VA	V+PO+T

Tabela 4.2: Frequência de acompanhamento

Legenda:

V : Análise de Vibração;

PO : Parâmetros Operacionais;

T : Temperatura;

VA : Visual e Auditiva (inclui todos os equipamentos da Fábrica);

F : Ferrografia.

4.5.3.3. Fairway

A periodicidade de coleta de dados de cada “família” de equipamentos é dada à seguir:

-Equipamentos de Classe A: quinzenal e mensal;

-Equipamentos de Classe B: quinzenal e mensal;

-Equipamentos de Classe C: mensal e bimestral.

4.5.3.4. Análise dos resultados

Mais uma vez cada unidade monitora seus grupos de equipamentos com periodicidades diferentes.

Evidentemente cada unidade possui suas razões e experiências para isso.

Com uma uniformização na classificação dos equipamentos, outro item que poderia ser uniformizado seria a periodicidade da coleta de dados.

Isso poderia ser discutido entre as unidades, trocando-se informações e experiências entre cada uma delas, procurando-se dessa forma a melhor solução.

Seria muito enriquecedor para todos os lados, pois seriam discutidas técnicas e medidas adotadas em cada uma delas, conhecendo-se a eficácia de cada medida tomada.

4.5.4. Histórico de Medições

4.5.4.1. Usina Química de Santo André

Esta unidade possui dados confiáveis medidos a partir de 1994, com possíveis causas de falhas e espectros de nível global.

A partir de 1995 todos estes dados começaram a ser arquivados através do uso da informática (os dados foram cadastrados no software PRISM 2 da SKF).

Houve uma grande otimização no método de coleta e análise dos dados.

Dessa forma, toda a análise que anteriormente era realizada manualmente, foi facilitada com a utilização do software. Ele realiza automaticamente toda análise estatística, determinando a frequência que ultrapassar os níveis de alarme pré-determinados pelo analista (no caso o técnico).

4.5.4.2. Usina Química de Paulínia

A Usina Química de Paulínia possui dados sobre valores globais do sinal a partir de 82, com uma melhora na coleta de dados a partir de 87, possuindo dessa forma um histórico a partir de 82.

Possui relatórios a partir de 1990.

A partir de 1991, com a implantação do SIGEMAN, esta unidade passou a se utilizar do histórico deste sistema (mas também não unicamente).

4.5.4.3. Fairway

Esta unidade possui histórico de dados a partir de 89.

A partir de 94 iniciou-se os relatórios gerenciais com indicadores de performance.

Em 93, com a implantação do SIGEMAN, criou-se outro meio de se cadastrarem as quebras e os serviços executados nos equipamentos (histórico), mas não tão confiáveis.

4.5.4.4. Análise dos resultados

Como vimos, a manutenção dos equipamentos depende fundamentalmente do histórico de quebras e dados coletados destes equipamentos.

Como vimos, também, normas como ISO 2373, servem apenas para um monitoramento de equipamentos novos, que não possuem muitos dados coletados a seu respeito, para que se tenha idéia de qual seria seu verdadeiro parâmetro de funcionamento.

Dessa forma, quanto mais dados coletados a respeito de um equipamento, mais confiante será o seu diagnóstico.

Como podemos notar, a Usina Química de Santo André possui dados confiáveis coletados apenas a partir de 1995, o que representa um histórico relativamente “pequeno” se comparado com a Usina Química de Paulínia (dados a partir de 1982) e Fairway (dados a partir de 1989).

4.5.5. Determinação das rotas dos equipamentos

4.5.5.1. Usina Química de Santo André

As rotas dos equipamentos são determinadas de acordo com a proximidade dos equipamentos e de acordo com a cadência de coleta de dados.

4.5.5.2. Usina Química de Paulínia

As rotas foram determinadas levando-se em conta um percurso lógico de deslocamento, evitando-se caminhos desnecessários e tomando o cuidado de não inserir equipamentos que trabalhem alternadamente (reservas) em uma mesma rota.

4.5.5.3. Fairway

O cronograma do mês é dividido em semanas e os equipamentos distribuídos de forma a facilitar a coleta em uma sequência lógica em que são medidos aqueles que ficarem mais próximos.

O cadastro no software que gerencia as coletas em campo já possui esta sequência de medição.

4.5.5.4. Análise dos resultados

Como pudemos notar as unidades valorizam a proximidade dos equipamentos e a cadência de coleta de dados dos equipamentos.

4.5.6. Eficiência do Plano de Manutenção em cada unidade

4.5.6.1. Equipamentos monitorados

4.5.6.1.1. Usina Química de Santo André

Esta unidade não possui os números exatos dos equipamentos monitorados, sendo por volta de 75%.

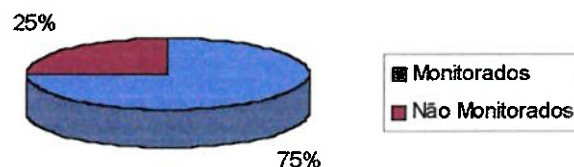


Gráfico 4.1: Equipamentos monitorados pela Usina Química de Santo André

Alguns equipamentos não são monitorados nesta unidade. Os critérios utilizados para isso são: índice de falhas pequeno, equipamentos sem importância para o processo, indisponibilidade de mão-de-obra.

4.5.6.1.2. Usina Química de Paulínia

A seguir iremos mostrar a porcentagem dos equipamentos monitorados atualmente na Usina Química de Paulínia.

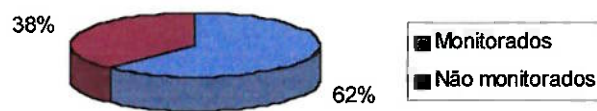


Gráfico 4.2: Equipamentos monitorados pela Usina Química de Paulínia

Para se determinar os equipamentos que serão acompanhados periodicamente por vibração, foram definidos os seguintes critérios:

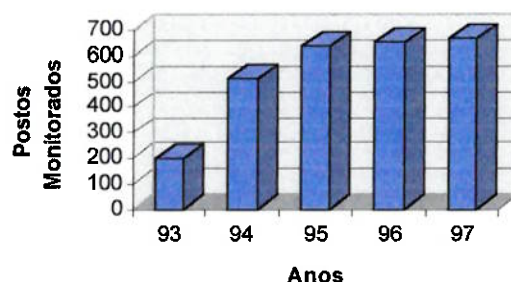
- Parada causa perda de produção (dados da unidade de fabricação);
- Custos de Manutenção (pesquisado no período de 18 meses);
- Parada causa impacto ao meio ambiente (dados unidade de fabricação);
- Parada causa impacto na segurança pessoal (dados da unidade de fabricação);
- Número de intervenções ultrapassar o número de 10 (período de 18 meses);
- Complexidade para análise de Vibração;
- Sugestões dos responsáveis pela área envolvida (agente de manutenção/supervisor de manutenção).

Os equipamentos que não se enquadrarem em pelo menos um dos critérios acima, não serão monitorados.

4.5.6.1.3. Fairway

Esta unidade prova a eficiência da equipe de manutenção.

Um dos fatores que demonstra a crescente eficiência é com relação ao crescente número de postos monitorados.



ANOS	POSTOS MONITORADOS
1993	198
1994	512
1995	637
1996	650
1997	668

Figura 4.1: Evolução do número de postos monitorados pela Fairway-Santo André

4.5.6.1.4. Análise dos resultados

Como pudemos notar, a Usina Química de Santo André não possui os dados exatos sobre o total de equipamentos monitorados, apenas uma estimativa.

Possui uma porcentagem de equipamentos monitorados de aproximadamente 75%, apesar de possuir a mais alta porcentagem entre as unidades, esta unidade deveria ter estes dados precisos.

A Usina Química de Paulínia possui os dados exatos sobre estes valores, possui 62% do total de equipamentos sendo monitorados.

Estes dados estão longe do ideal, sendo necessário esta unidade tomar alguma medida para aumentar a porcentagem de equipamentos monitorados.

Já a Fairway não possui o número total de equipamentos que compõem a planta.

Mesmo assim, esta unidade acompanha a evolução do monitoramento dos postos (conjunto de equipamentos) a partir de 1993.

Pode-se notar claramente uma evolução muito grande ao passar dos anos.

4.5.6.2. Distribuição do tipo de manutenção aplicada (análise de vibrações)

4.5.6.2.1. Usina Química de Santo André

Os números aproximados da distribuição do tipo de manutenção aplicado nesta unidade são mostrados no gráfico a seguir.

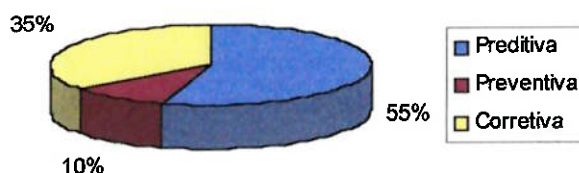


Gráfico 4.3: Tipos de manutenção aplicada na Usina Química de Santo André

4.5.6.2.2. Usina Química de Paulínia

Abaixo iremos mostrar a distribuição do tipo de manutenção aplicada nesta unidade:

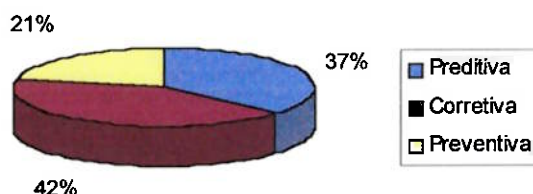


Gráfico 4.4: Tipo de manutenção aplicada na Usina Química de Paulínia

Para esta análise foram consideradas bombas, motores, redutores, agitadores, compressores, turbinas e ventiladores no período de 01/01/97 a 30/09/97.

4.5.6.2.3. Fairway

Esta unidade não acompanha estes dados.

4.5.6.2.4. Análise dos resultados

Como podemos notar, apesar da Fairway ser uma unidade considerada a nível de benchmarking, ela não acompanha estes dados, que são de grande importância.

Com relação às unidades que acompanham estes valores, ambas possuem um alto índice de manutenção corretiva aplicada (Usina Química de Santo André, com 35% e a Usina Química de Paulínia, com 42%), sendo necessário tomar medidas para redução destes números.

Talvez seja uma consequência das unidades não conseguirem monitorar toda abrangência de equipamentos, dessa forma não conseguindo diagnosticar o estado real de todas as máquinas (que é o “princípio” da manutenção preditiva).

4.5.6.3. Distribuição do estado atual dos equipamentos monitorados

4.5.6.3.1. Usina Química de Santo André

Podemos observar o estado atual dos equipamentos monitorados através do gráfico a seguir.

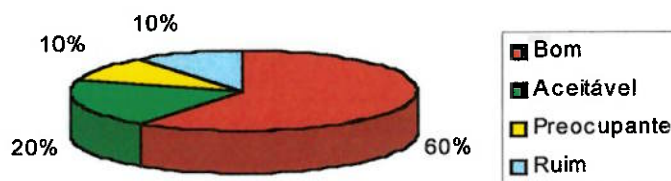


Gráfico 4.5: Distribuição do estado atual dos equipamentos monitorados da UQSA.

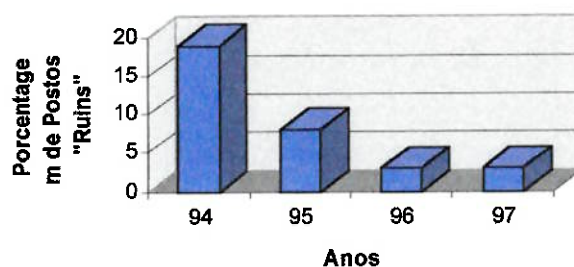
4.5.6.3.2. Usina Química de Paulínia

Os parâmetros para definição do estado dos equipamentos estão em fase de definição, dessa forma a unidade não pôde avaliar tais porcentagens.

4.5.6.3.3. Fairway

Para mostrar o bom trabalho desenvolvido pela equipe de manutenção desta unidade, iremos mostrar a seguir um gráfico que mostra a redução do número de postos que necessitavam de intervenção, ao passar dos anos, a partir de 94.

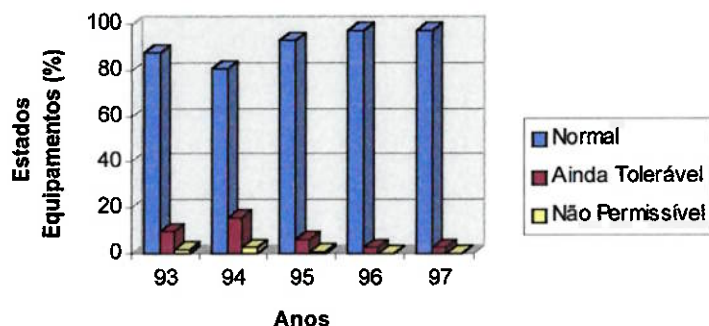
A taxa foi caindo de 19%, em 94, para apenas 3% em 97.



ANOS	POSTOS COM NECESSIDADE DE INTERVENÇÃO (%)
1994	19
1995	8
1996	3
1997	3

Figura 4.2: Evolução dos postos com necessidade de intervenção da Fairway-Santo André

Esta unidade acompanha o estado dos equipamentos monitorados desde 1993, sendo possível notar o resultado da manutenção preditiva aplicada nesta unidade.



ESTADO DOS EQUIPAMENTOS (%)			
ANOS	NORMAL	AINDA TOLERÁVEL	NÃO PERMISSÍVEL
1993	88	10	2
1994	81	16	3
1995	93	6	1
1996	97	3	0
1997	97	3	0

Figura 4.3: Evolução do estado dos equipamentos da Fairway

Como pudemos notar, nos anos de 1996 e 1997, o número de equipamentos monitorados em estado não permissível é nulo, demonstrando a eficiência do programa de manutenção.

4.5.6.3.4. Análise dos resultados

Na Usina Química de Santo André, o número de equipamentos monitorados considerados bons não é muito alto (correspondendo a 60%) sendo necessário aumentar estes valores.

Na Fairway, os equipamentos considerados normais vêm evoluindo através dos anos, chegando a 97% em 1997 (os equipamentos considerados normais em 1993 representavam 88%).

Outro fator muito relevante é que desde 1996, os equipamentos considerados não permissíveis representam 0%.

4.5.6.4. Distribuição das principais causas de vibração

4.5.6.4.1. Usina Química de Santo André

Quase a maioria dos equipamentos monitorados apresentavam problemas de alinhamento, sendo que os problemas foram solucionados após a aquisição de um alinhador a laser.

Aproximadamente 30% dos equipamentos apresentavam problemas de balanceamento, que foram resolvidos através de balanceamento de campo.

Cerca de 40% dos equipamentos possuíam problemas de rolamento. Obteve-se ganhos significativos com o desenvolvimento de lubrificantes e também desenvolvendo fornecedor credenciado SKF.

Os problemas de rigidez de base representavam 30% dos problemas apresentados.

Os problemas relacionados ao fluxo de fluidos (cavitação), representavam cerca 15% dos problemas e 5% dos equipamentos apresentavam desgaste nas engrenagens.

4.5.6.4.2. Usina Química de Paulínia

A seguir iremos apresentar as principais causas de falhas desta unidade, em termos das recomendações de intervenção, mostrando suas porcentagens em termos de recomendações de intervenção e em termos de números absolutos.

Tipo de Falha	Recomendações de Intervenção (%)
Rolamento	28,32
Acoplamento	14,16
Folgas Mecânicas	11,56
Desalinhamento	8,95
Desbalanceamento	5,49
Correia	4,62
Eixo	3,76

Tabela 4.3: Principais causas de falhas da Usina Química de Paulínia

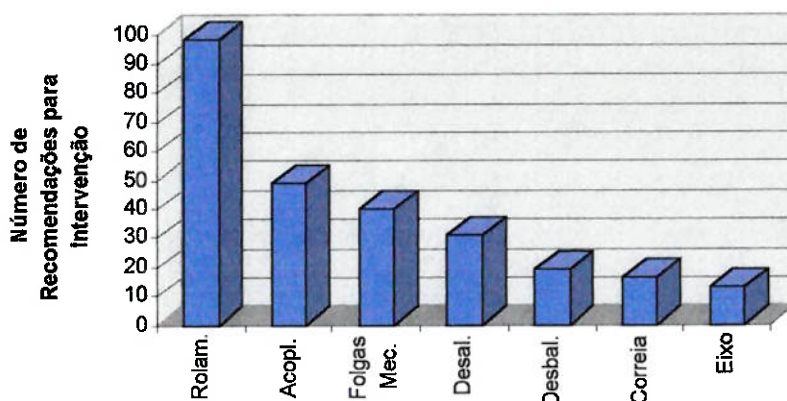


Gráfico 4.6: Indicativo do número de recomendações de intervenção das principais falhas (jan/97 a ago/97)

4.5.6.4.3. Fairway

A seguir iremos apresentar os principais tipos de problemas e os principais tipos de falhas em componentes, de acordo com o número de relatórios emitidos, no período de janeiro a agosto de 1997.

PRINCIPAIS TIPOS DE PROBLEMAS	NÚMERO DE RELATÓRIOS (%)
Desalinhamento	31,11
Desbalanceamento	17,78
Folgas excessivas	18,89

Tabela 4.4: Número de relatórios (%) emitidos para os principais tipos de problemas apresentados na Fairway

PRINCIPAIS FALHAS EM COMPONENTES	NÚMERO DE RELATÓRIOS (%)
ROLAMENTO	26,27
ACOPLAMENTO	5,56
CORREIAS	4,44

Tabela 4.5: Número de relatórios

4.5.6.4.4. Análise dos resultados

Como podemos notar, todas as unidades possuem um controle dos principais tipos de problemas que ocorrem nas unidades.

Este é um importante fator adotado pelas unidades, pois, desta forma, é possível adotar medidas certas na tentativa de controlar a quebra de equipamentos.

Um bom exemplo é o da Usina Química de Santo André, que, através dos dados coletados, notou-se que os principais tipos de problemas eram de alinhamento (quase a maioria), problemas de balanceamento (30%) e problemas de rolamento (40%).

Identificados os principais tipos de problemas, foram adotadas determinadas medidas visando uma forma de controlá-los.

As medidas adotadas foram, como pudemos ver, a aquisição de um alinhador a laser, realização de balanceamento em campo, desenvolvimento de lubrificantes e também desenvolvendo fornecedor credenciado SKF.

Segundo a Usina Química de Santo André, os problemas referentes a alinhamento e balanceamento foram solucionados, obtendo-se melhoras significativas com relação aos problemas em rolamentos.

5-Recomendações

Como foi visto no item 1.3. (Objetivo e Escopo do Trabalho), o objetivo foi de analisar e propor ações de melhoria no processo de gerenciamento da manutenção preditiva-análise de vibrações adotado na Usina Química de Santo André, sendo outras unidades da Rhodia (Usina Química de Paulínia e Fairway-Santo André) utilizadas como benchmarking.

Neste item iremos propor algumas recomendações a serem adotadas pela Usina Química de Santo André, pretendendo, desta forma, contribuir com uma diminuição nos custos de manutenção e quebras dos equipamentos e aumentar a disponibilidade da instalação.

Recomendações propostas para esta unidade:

- a) Uma das primeiras recomendações a serem feitas à Usina Química de Santo André é não possuir equipamentos com pontos de dados com bases rosqueadas, apesar de possuir equipamentos rotativos, em que as frequências de rotação de seus componentes superam o valor de 100 Hz.
- b) Outro fator que tem que ser melhorado é que a equipe de manutenção preditiva - análise de vibração é formada por apenas um técnico. Como vimos pelo cálculo executado anteriormente, esta unidade necessitava de uma equipe formada por, no mínimo, dois técnicos (“ideal”).
- c) A Usina Química de Santo André e a Fairway, por possuírem equipamentos de medição e softwares semelhantes, poderiam realizar mais trocas de experiências, conhecimentos e técnicas, além daqueles trabalhos (relacionados à manutenção) apresentados no Seminário Rhodia de Manutenção Industrial, que se realizam a cada 2 anos.

Uma troca de experiência mais constante, poderia aumentar a integração entre as unidades, e soluções (melhores) em comum, poderiam ser adotadas.

- d) Com relação ao SIGEMAN assim como em outras unidades, a Usina Química de Santo André não detalha muito o campo vale de trabalho, especificamente sobre o histórico de intervenção, possuindo um controle de relatório (Ordem de Serviço) emitidos e executados, paralelo ao SIGEMAN.

Deveria-se tornar obrigatório o preenchimento deste campo, o que iria facilitar e reduzir muito o tempo de verificação de dados sobre quebras dos componentes em máquinas (histórico).

Como sabemos, o histórico de quebras de um equipamento é uma importante forma para diagnosticarmos suas falhas.

Dessa forma, poderiam ser realizadas palestras mostrando as vantagens de uso desse software, principalmente o modo como se alimentar e utilizar um histórico informatizado (rápidas consultas), evitando também acúmulo de papéis, melhor organização e eliminando totalmente este controle paralelo.

Encontros periódicos entre as unidades visando trocas de experiências e resultados obtidos, podem trazer maiores incentivos com relação ao uso total deste software.

- e) Com relação à classificação dos equipamentos, todas (inclusive a Usina Química de Santo André) realizam de acordo com a prioridade da fábrica, experiência dos Supervisores, custo de manutenção e complexidade dos equipamentos.
Apesar da Usina Química de Santo André possuir uma classificação semelhante ao da Fairway (três grupos de equipamentos), deveria-se procurar uma maior uniformização dos grupos de classificação do equipamentos, o que poderia homogeneizar, por exemplo o período de coleta de dados de cada grupo de equipamentos (cronograma); apesar de depender de outros fatores como o número de pessoas que compõe a equipe de manutenção preditiva e também da abrangência de equipamentos.
- f) Com relação às técnicas utilizadas para coleta e tratamento de dados, a Usina Química de Santo André utiliza-se principalmente de: coleta de nível global, técnicas de envelope e espectro.
Técnicas interessantes que poderiam ser adotadas são a análise ferrográfica (Usina Química de Paulínia), temperatura (Usina Química de Paulínia e Fairway) e envelope utilizando mais um filtro, medição de corrente (Fairway).
Mais uma vez seria necessário haver um intercâmbio maior entre as equipes de preditiva para conhecimento de novas técnicas.
- g) A Usina Química de Santo André possui uma grande falha com relação ao histórico de causas de falhas e espectros de nível global.
Ela conseguiu dados confiáveis medidos, apenas à partir de 1994, enquanto outras unidades possuem estes dados (confiáveis) há pelo menos 5 anos antes desta data.
Mas a Usina Química de Santo André tem se empenhado (e conseguido) atualizar seu histórico desde então.
- h) A Usina Química de Santo André possui uma estimativa de que 75% de seus equipamentos são monitorados.
Este número é superior ao da Usina Química de Paulínia, mas trata-se de uma estimativa, e não de um número exato.
A unidade deveria conseguir o valor exato desses números.
Dessa forma, poderia aumentar o período de coleta de dados dos vários equipamentos (por exemplo, no caso dos equipamentos prioritários, transformar a medição semanal, para mensal ou dos equipamentos não prioritários de mensal para uma medição a cada 45 dias).
Assim poderia-se aumentar a proporção de equipamentos monitorados.
Consequentemente, a porcentagem de manutenção corretiva aplicada na unidade poderia diminuir (atualmente possui uma taxa alta: 35%) aumentando-se o número de equipamentos considerados bons (atualmente em 60%) e diminuindo o número de equipamentos ruins (atualmente em 10%).
Um exemplo disto é a Fairway que aumentou durante os anos (de 1993 a 1997) o número de postos monitorados (198 postos em 1993 para 668 postos em 1997) tendo como consequência o aumento do número de postos considerados normais (88% em 1993 para 97% em 1997) e consequente diminuição do número de postos não permissíveis (2% em 1993 para 0% em 1997).

- i) Com relação aos principais tipos de falhas em equipamentos, as 3 unidades estudadas apresentam um grande preocupação em controlá-las (inclusive a Usina Química de Santo André).

Todas sabem quais são e em que proporções aparecem.

Como vimos, a Usina Química de Santo André adotou determinadas medidas (aquisição de alinhador a laser, realização de balanceamento em campo, desenvolvimento de lubrificantes e também desenvolvendo fornecedor credenciado da SKF) visando os principais problemas apresentados na unidade: alinhamento, balanceamento e rolamentos.

6-Referências Bibliográficas

1. Ariza, Cláudio Fernandes. *Manutenção de Equipamento Elétrico Industrial - Introdução à aplicação da manutenção preventiva*, editora McGraw-Hill do Brasil Ltda.
2. Brüel & Kjaer, *Measuring Vibration*, 1982.
3. Brüel & Kjaer, *Machine - Health Monitoring*, 1984.
4. Coelho Filho, Cláudio. *Implantação de um Sistema Piloto de Manutenção Preventiva com Análise Crítica de Falhas*, São Paulo, 1996.
5. A. Kelly & M. J. Harris, *Administração da Manutenção Industrial*, tradução de Ramos, Mário Amora - membro da Comissão de Manutenção IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo), Rio de Janeiro.
6. Mirshawka, Victor e Almedo, Napoleão Lupes. *Manutenção - Combate aos Custos de Não-Eficiência - a Vez do Brasil*, editora Makron Books.
7. Monchy, François. *A Função Manutenção - Formação para a Gerência da Manutenção Industrial*, EBRAS editora Brasileira, editora DURBAN.
8. Nagao, Sérgio Kimimassa. *Manutenção Industrial - Análise, Diagnóstico e Propostas - Melhoria de Performance em Indústrias de Processo*, São Paulo, 1996.
9. Nepomuceno. *Técnicas de Manutenção Preditiva*, volumes 1 e 2.
10. Vargas, Renato Teixeira. *Um Estudo Experimental sobre Detecção e Diagnóstico de Falha em Rolamento por Medição e Análise de Sinais Acústicos e Vibratórios*, São Paulo, 1996.
11. *Manutenção - Função - Estratégia para a Excelência Empresarial - Trabalhos Técnicos*, ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), Belo Horizonte, 29/09/96 a 02/10/96.
12. 10º Congresso Brasileiro de Manutenção - *A Manutenção na Dinâmica das Mudanças - Trabalhos Técnicos*, ABRAMAN.
13. II Seminário Brasileiro de Manutenção Preditiva e Inspeção de Equipamentos, Instituto de Engenharia São Paulo, 8 e 9 de junho de 1995.
14. III Seminário Brasileiro de Planejamento e Informatização de Manutenção, Instituto de Engenharia São Paulo, 9 e 10 de maio de 1996.
15. I Seminário Rhodia de Manutenção Industrial - *Trabalhos Técnicos*, editora: Direção Científica e Tecnológica - Gerência Geral de Engenharia de Grupo - Assessoria de Manutenção Industrial, conj. Santo André, 27 e 28 de novembro de 1991.
16. II Seminário Rhodia de Manutenção Industrial - *Trabalhos Técnicos*, editora: Direção Científica e Tecnológica - Gerência Geral de Engenharia de Grupo - Assessoria de Manutenção Industrial, conj. Paulínia, 7 e 8 de dezembro de 1993.

17.III Seminário Rhodia de Manutenção Industrial - Trabalhos Técnicos, Manutenção em Busca da Excelência, editora: Direção Científica e Tecnológica - Gerência Geral de Engenharia de Grupo - Assessoria de Manutenção Industrial, Usina Química de Santo André, 8 e 9 de novembro de 1995.

18.Vibration Institute, Proceedings, 17th Annual meeting, St. Louis, Missouri, June 8-10, 1993.