

**E-TEC**  
**Revista de**  
**Tecnologia e**  
**Ciência**  
**V.1-2016**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**SENAI LONDRINA**

# E-TEC Revista de Tecnologia e Ciência

## Corpo Editorial

Editor Chefe – V.1-2016  
Saulo Aguiar Saes

## Comitê Executivo

Marcelo Antônio Strik  
Vicente de Lima Gongora  
Rodolfo Alexandre Hildebrandt  
Camila Fogaça de Oliveira

Editora: Faculdade de Tecnologia Senai Londrina  
ISSN: 2358-5528

Direitos reservados

**Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina**

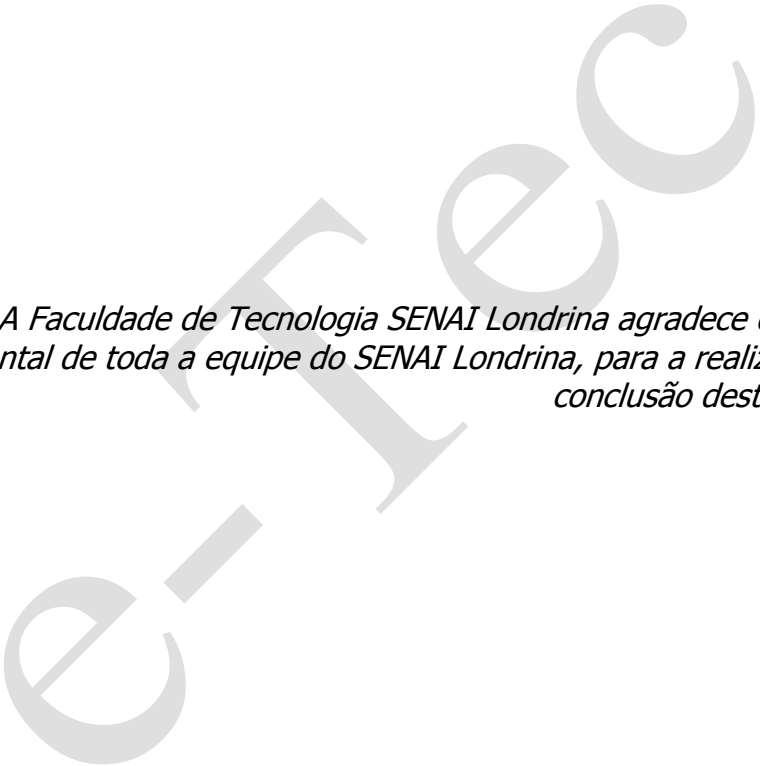
Rua Belém, 844 – Londrina PR.

43 -3294-5100 – [faculdade.londrina@pr.senai.br](mailto:faculdade.londrina@pr.senai.br)

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida sem a autorização prévia e escrita da Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. Este periódico publica nomes individuais, comerciais e marcas registradas e produtos pertencentes a diversas companhias. O Editor utiliza-se destes nomes somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários dos nomes e marcas, sem intenção de atingir seus direitos. Observa-se ainda que os dados contidos nos artigos são de responsabilidade dos próprios autores.

# Sumário

Prefácio .....	4
Introdução .....	5
Proposta para Redação de um Manual de Manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados Rede Elétrica Instalados em Residências.....	6
Detecção de Falhas em Rolamentos por Análise de Vibração em Bancada Didática .....	34
Controle Automático de Nível de Água em Caldeira para Adequação NR 13 .....	60
Estratégias para Gestão de Manutenção Industrial .....	82



*A Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina agradece o apoio fundamental de toda a equipe do SENAI Londrina, para a realização e conclusão desta obra.*

## Prefácio

A Revista e-tec SENAI Londrina é um periódico técnico-científico com publicação semestral, cujo objetivo principal é fomentar a pesquisa nas áreas de inovação, educação tecnológica, científica e tecnologia industrial. A revista, publicada eletronicamente, recebe artigos inéditos (teóricos ou teórico-empíricos) e resenhas de usuários de todo o Brasil e do exterior, aceitando publicações em Português, Espanhol e Inglês. A revista também edita entrevistas com pesquisadores e personalidades que contribuem de forma relevante para as linhas de pesquisa da revista; mantendo recebimento das submissões online e de forma ininterrupto.

Os artigos e resenhas submetidos, são avaliados inicialmente pelo comitê executivo, que verifica o texto e se enquadrando nas linhas de pesquisa deste periódico será na sequência submetido aos avaliadores. Os entrevistados de cada edição são indicados pelo editor chefe ou pelo conselho editorial e avaliados pelos membros do comitê executivo. Os critérios para a composição do corpo editorial, estão relacionados com os conceitos de excelência, seriedade e inovação que a Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina possui.

# INTRODUÇÃO

Esta publicação tem caráter multidisciplinar e foi escrita com a intenção de ser utilizada pelos alunos dos cursos de graduação e pós-graduação da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. Os diversos autores divulgam conceitos e experimentos aplicados na moderna indústria, muitas vezes os procedimentos mostrados são resultados de trabalhos experimentais ou aplicados efetivamente. O objetivo fundamental a ser alcançado, por esta publicação é; desenvolver suficiente habilidade para entender e resolver questões semelhantes que possam aparecer durante o desenvolvimento de trabalhos, tanto durante os cursos da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, como em desafios profissionais, tendo como referência a metodologia e os procedimentos adotados pelos autores deste periódico. A publicação foi organizada e dividida em artigos, apresentando-se em cada um deles um resumo que revela ao leitor as características fundamentais e o foco do trabalho desenvolvido, desta forma, o leitor verifica e avalia o grau de interesse e pode dar continuidade no entendimento da obra escrita. Salienta-se que, cada artigo é o modelo padrão, deste periódico, onde o leitor pode submeter o seu trabalho para apreciação do corpo editorial, através do email "faculdade.londrina@pr.senai.br.

Boa leitura!

# PROPOSTA PARA REDAÇÃO DE UM MANUAL DE MANUTENÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA INSTALADOS EM RESIDÊNCIAS

MARCOS CLAUDEMIR GOUVEA<sup>1</sup>  
APARECIDO SERAPIÃO DOS SANTOS<sup>2</sup>  
SAULO AGUIAR SAES<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, teve como objetivo adquirir dados para dar subsídios para edição de um manual de manutenção do sistema fotovoltaico instalado em residência e conectado à rede elétrica. Utilizamos como metodologia a revisão de literaturas e pesquisas em revistas técnicas e de sites de fabricantes. O resultado foi à aquisição de dados para uma possível redação de um manual que trará métodos de manutenção, com indicadores de utilização, apresentando ao consumidor especificações de como executar de forma adequada à manutenção ou contratar uma empresa especializada para realizá-la, consciente dos procedimentos que devem ser adotados em uma prestação de serviço adequada.

**Palavras-chave:** Manutenção. Sistema fotovoltaico. Sistema Fotovoltaico Conectado à rede elétrica.

- 
- <sup>1</sup> Graduando; Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial; Faculdade de Tecnologia Senai de Londrina; [marcos.c.gouvea@gmail.com](mailto:marcos.c.gouvea@gmail.com)
  - <sup>2</sup> Especialista em Engenharia de Automação, Senai Santa Catarina. E-mail: [aparecido.serapiao@pr.senai.br](mailto:aparecido.serapiao@pr.senai.br)
  - <sup>3</sup> Especialista em Gestão da Produção com Ênfase em Administração da Produção, UTFPR - CP. E-mail: [Saulo.saes@fiepr.org.br](mailto:Saulo.saes@fiepr.org.br)

# 1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis vem se tornando cada vez mais utilizadas em todo o mundo, dentre elas, a fotovoltaico se destaca pela possibilidade de ser instalada próximo ao local de consumo, com o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica, a energia elétrica gerada que não é consumida durante o dia, é injetada na rede elétrica gerando créditos para o usuário, e pode ser consumida durante a noite quando não há geração de energia pelo sistema fotovoltaico.

Instalações deste tipo vêm se tornando cada dia mais utilizadas em alguns países da Europa, Japão, Estados Unidos e mais recentemente no Brasil. Por ser um sistema relativamente novo no Brasil, há pouca ou nenhuma informação para o usuário sobre manutenção dos sistemas instalados, sendo assim, faz-se necessário um estudo sobre a manutenção destes sistemas. Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar um roteiro de manutenção de sistemas fotovoltaicos instalados em residências e conectados à rede elétrica.

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede tem um custo de manutenção relativamente baixo se comparado com os sistemas isolados, ocupa pouco espaço, pois não necessita de acumuladores de carga (baterias), e com boa durabilidade, segundo Haney e Burstein, (2013, p.7) espera-se que a vida útil do sistema fotovoltaico seja superior a 25 anos, mas para que a operação seja bem-sucedida e confiável é necessário que uma manutenção de forma segura e adequada esteja integrada a operação.

Mas essa durabilidade por si só não é suficiente, para dar o retorno ao investimento inicial é necessário que o sistema produza a quantidade de energia elétrica para o qual ele foi dimensionado, para Pinho e Galdino

(2014, p.405), os sistemas fotovoltaicos devem passar por inspeção e manutenção periódica de forma a garantir uma operação eficiente, esta manutenção periódica impedirá a ocorrência de problemas futuros, para Xenos (2014, p.20) a atuação da manutenção é necessária para que não ocorra degradação de equipamentos e instalações, essa degradação pode se apresentar de várias formas, aparência externa ruim, perdas de desempenho e paradas de produção, e é causada pelo desgaste natural e pelo uso.

O resultado obtido foi à aquisição de dados para a possível redação de um manual que apresenta um roteiro de manutenções preventivas, preditivas e corretivas, facilitando ao consumidor executar de forma adequada a manutenção e ou contratar uma empresa especializada, solicitando as especificações do que deve encontrar em uma prestação adequada de serviço. A metodologia adotada foi a revisão de literaturas e pesquisas em revistas técnicas e de sites de fabricantes.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Manutenção**

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) devem passar por inspeção e manutenção periódica de forma a garantir uma operação eficiente, esta manutenção deverá seguir um plano de manutenção preestabelecido e baseado em recomendações dos fabricantes. (Pinho e Galdino, 2014).

Espera-se que a vida útil do sistema fotovoltaico seja superior a 25 anos, mas para que a operação seja bem-sucedida e confiável é necessário

que uma manutenção de forma segura e adequada esteja integrada a operação. (Haney e Burstein, 2013).

A atuação da manutenção é necessária para que não ocorra degradação de equipamentos e instalações, essa degradação pode se apresentar de várias formas, aparência externa ruim, perdas de desempenho e paradas de produção, e é causada pelo desgaste natural e pelo uso. (Xenos,2014).

Para Kardec e Nascif, (2010, p.23) a missão atual da manutenção é, “Garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança prevenção do meio ambiente e custo adequado”.

Atualmente são praticados seis tipos de manutenção: corretiva não planejada; corretiva planejada; preventiva; preditiva; detectiva e engenharia da manutenção. O tipo de manutenção é caracterizado pela forma de intervenção onde ela é praticada.

### **2.1.1 Manutenção corretiva não planejada**

É a manutenção que acontece depois do fato já ocorrido de maneira inesperada, que pode ser por perda de desempenho ou falha, sem tempo para preparação do serviço.

Kardec e Nascif (2010, p.39) reiteram que esse tipo de manutenção implica em altos custos, já que essa quebra inesperada pode causar perdas de produção e além disso essa quebra inesperada pode estender os danos no equipamento, ou seja, se um rolamento de uma caixa de câmbio não é substituído assim que dá sinais de mau funcionamento ele pode quebrar e

danificar as engrenagens da caixa de câmbio o que aumentaria o custo da manutenção.

### **2.1.2 Manutenção corretiva planejada**

Ocorre por perda de desempenho ou falha, mas nesse caso a falha é por decisão gerencial, ou seja, ou há uma decisão prévia de trabalhar até a quebra ou em atuar em função de acompanhamento preditivo.

Segundo Kardec e Nascif (2010, p.41) a característica principal da manutenção corretiva planejada é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento.

E mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o equipamento funcionar até a quebra, essa é uma decisão conhecida e algum planejamento pode ser feito para quando a falha ocorrer, como substituir o equipamento por outro idêntico ou ter um Kit de reparo rápido.

### **2.1.3 Manutenção preventiva**

É a atuação realizada com o objetivo de reduzir ou evitar a falha ou a perda de desempenho do equipamento, de acordo com um plano de manutenção pré-estabelecido, baseado em intervalos definidos de tempo.

Para Kardec e Nascif (2010, p.42) a Manutenção Preventiva procura prevenir obstinadamente a ocorrência de falhas, e que em alguns setores, a adoção da manutenção preventiva é imperativa para determinados sistemas e componentes, pois o fator de segurança se sobrepõe aos demais.

### **2.1.4 Manutenção Preditiva**

É a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, essa atuação é na verdade a manutenção corretiva planejada após um acompanhamento sistemático e realizado com o objetivo de prever o estado futuro do equipamento, sistema ou instalação, dados são coletados através de ensaios termográficas, de vibração, ultrassom, análises em óleos lubrificantes e etc.

A grande vantagem da Manutenção Preditiva segundo Kardec e Nascif (2010, p.45) é de dar preferência a disponibilidade do equipamento ou sistemas à medida que as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo e só quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão de intervenção, normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço.

### **2.1.5 Manutenção Detectiva**

É um termo que começou a ser utilizado na década de 1990, e é a manutenção com atuação em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis às equipes de operação e manutenção, ou seja, são tarefas executadas para detectar falhas antes que elas ocorram, buscando eliminar falhas ocultas por meio de testes periódicos no sistema.

Segundo Kardec e Nascif (2010, p.48) “A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoa da área de manutenção,

com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação”.

### **2.1.6 Engenharia da Manutenção**

É o suporte técnico da manutenção formado por engenheiros, técnicos e/ou tecnólogos que utilizam fatos e indicadores como parâmetro, com o objetivo de implantar a Melhoria. Para Kardec e Nascif (2010, p.50) a definição de Engenharia de Manutenção é “perseguir benchmarks<sup>1</sup>, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”.

Vale lembrar que para dar bons resultados esses tipos de manutenção devem ser gerenciados por alguma ferramenta da qualidade, segundo Kardec e Nascif (2010, p. 38) as que se destacam são: Manutenção Produtiva Total (TPM), Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) e Manutenção Baseada na Confiabilidade (RBM).

## **2.2 Sistema fotovoltaico**

O sistema de energia solar fotovoltaico, também conhecido como sistema fotovoltaico (SFV), é um sistema capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Atualmente, existem dois tipos básicos de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados e Sistemas Conectados à Rede Elétrica.

Os Sistemas Isolados são utilizados onde não há rede elétrica ou os custos para se conectar à rede elétrica são elevados e são encontrados em casas de campo, refúgios, etc. Já os sistemas conectados à rede elétrica, tem a

função de substituir ou complementar a energia elétrica convencional disponibilizada na rede elétrica.

O sistema fotovoltaico é definido por Pinho; Galdino (2014, p. 44) como, “Sistema de conversão da radiação solar em energia aproveitável sob a forma de eletricidade. É constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento”.

O princípio de funcionamento dos painéis fotovoltaicos recebe o nome de efeito fotovoltaico onde *foto* significa *luz* e *Volt* significa *eletricidade*<sup>2</sup>.

O bloco de condicionamento de potência, tem função principal de otimizar o controle geração/consumo, pode ser composto por conversores, inversores e controladores de carga (se houver armazenamento), e o bloco de armazenamento é composto por acumuladores de carga elétrica (baterias).

O sistema fotovoltaico é uma fonte de energia limpa, renovável, silenciosa e teoricamente inesgotável e que não interfere diretamente no meio ambiente.

### **2.3 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica**

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCCR) são basicamente de um único tipo, nesses sistemas a energia produzida pelo

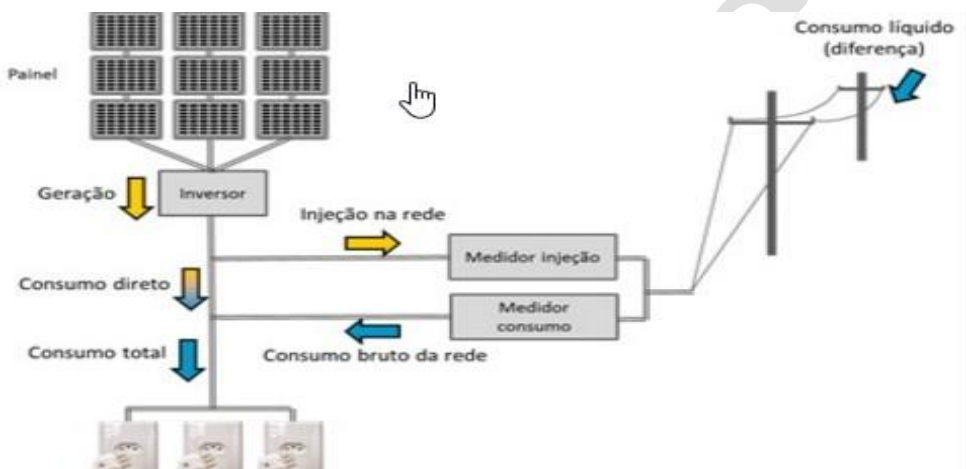
---

<sup>1</sup> Benchmarks: são fatos ou indicadores.

<sup>2</sup> O termo "fotovoltaica" vem do grego (Phos), que significa "luz", e em "volt", a unidade de força eletro-motriz, o volt, que por sua vez vem do sobrenome do físico italiano Alessandro Volta, inventor da pilha. O termo "foto-voltaica" tem sido usado em Inglês desde 1849.

sistema fotovoltaico pode ser consumida diretamente pela carga e o restante injetado na rede elétrica podendo ser consumida por outras unidades conectadas à mesma rede, e desta forma complementa o sistema elétrico em que está conectado, portanto, não havendo a necessidade do uso de acumuladores de carga (baterias) no SFCR, conforme figura 1.

Figura 1: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Fonte: Solarize (2014)

Segundo Pinho e Galdino (2014, p.289)

Instalações deste tipo vêm se tornando cada dia mais populares em diversos países europeus, no Japão, Estados Unidos e mais recentemente no Brasil. As potências instaladas vão desde poucos kWp em instalações residenciais, até alguns MWp em grandes sistemas operados por empresas.

### 2.3.1 Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

### 2.3.1.1 O Bloco Gerador

O bloco gerador é formado por painéis fotovoltaicos como pode ser observado na figura 2. Estes painéis são constituídos por módulos que por sua vez são compostos por células, que quando expostos à luz produzem eletricidade.

Figura 2: Painel Fotovoltaico

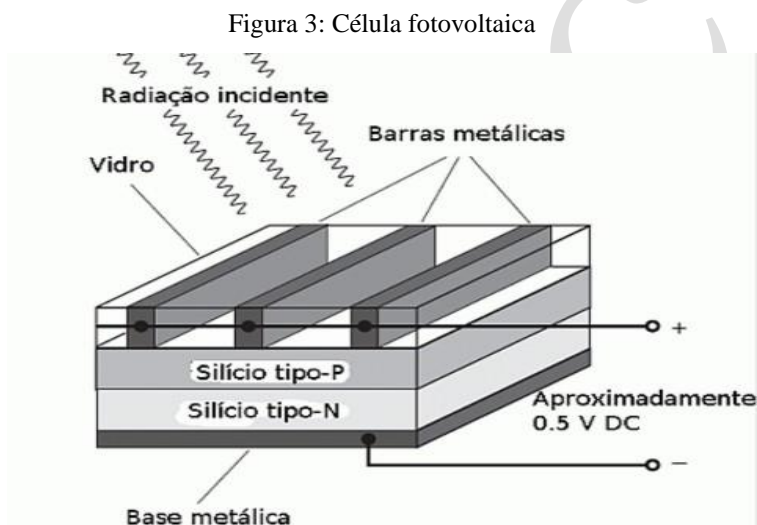


Fonte: Electrónica (2016)

A célula fotovoltaica é compreendida como o item mais importante do sistema fotovoltaico, já que ela é a responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica. Essa célula é fabricada a partir de silício (Si) chamados, tipo P e tipo N, na parte central da célula há uma lâmina chamada de junção P-N que obviamente leva esse nome por fazer a junção do silício tipo P (em cima) e o tipo N (em baixo), quando essa junção recebe radiação solar desenvolve uma tensão elétrica entre os silícios tipo P que está ligado a eletrodos positivos que são barras de metal paralelas na parte superior, e tipo N que está ligado ao eletrodo negativo que é uma base metálica chamada substrato na parte inferior, e se esses eletrodos estiverem ligados a uma carga

então produzirá também uma corrente elétrica, que diminui ou aumenta de acordo com a incidência de radiação solar.

O material semicondutor das células fotovoltaicas é o silício (Si) que podem ser monocristalino ou policristalino, o policristalino é o mais utilizado, já o monocristalino tem melhor eficiência, porém têm custo mais elevado. A figura 3 mostra o esquema de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Profelectro (2016)

### 2.3.1.2 Inversor CC-CA

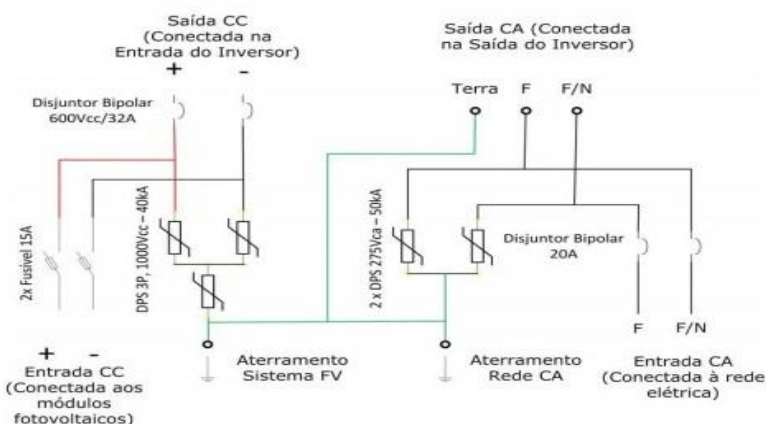
O inversor “CC-CA” é um dispositivo eletrônico capaz de transformar corrente contínua (C.C.) em corrente alternada (C.A.), para isso ele deve ser alimentado por alguma fonte de energia C.C., como, células à combustível, acumuladores de carga e também módulos fotovoltaicos.

Os inversores utilizados no SFCR devem atender as exigências das concessionárias de energia elétrica, tanto em segurança quanto em qualidade de energia injetada na rede elétrica, por exemplo, a tensão de saída deve estar sincronizada com a tensão da rede, ou seja, a tensão deve ter a mesma amplitude e frequência da rede elétrica em que está conectada e ter característica anti-ilhamento, essa característica faz com que o sistema fique em aberto assim que percebe uma falta de energia da rede elétrica

### 2.3.1.3 String box

A *String Box* é um quadro elétrico de proteção, composto por um conjunto de dispositivos contra distúrbios elétricos que ocasionalmente podem ocorrer entre as séries de Módulos Fotovoltaicos o Inversor e a rede elétrica e os dispositivos que a compõe são indispensáveis para o SFCR. A figura 4 mostra o diagrama unifilar de uma string box.

Figura 4: Diagrama de uma string box CC + CA



Fonte: PHB Solar (2016)

A composição da *String Box* da figura 4 está listado a seguir:

Lado C.C.

- a) DPS C.C. (dispositivo de proteção contra surto em corrente contínua) proteção contra descargas atmosféricas (raios);
- b) Chave seccionadora C.C. (função apenas de seccionar/abrir o circuito em corrente contínua) ou Disjuntor C.C., também pode ser usado como seccionamento entre o sistema e o arranjo fotovoltaico, além de proteger contra curto-circuito e sobrecargas elétricas em corrente contínua;
- c) Fusíveis de proteção C.C. protege contra sobre corrente.

Lado C.A.

- a) DPS C.A. (dispositivo de proteção contra surto em corrente alternada) proteção contra descargas atmosféricas (raios);
- b) Chave seccionadora C.A. (função apenas de seccionar/abrir o circuito em corrente alternada) ou Disjuntor C.A., também pode ser usado como seccionamento entre o sistema e a rede elétrica, além de proteger contra curto-circuito e sobrecargas elétricas em corrente alternada.

## **2.4 Micro e Minigeração**

No Brasil a energia elétrica gerada a partir de SFV e conectado à rede é regulamentada pelo Resolução Normativa Aneel N° 482/2012, e se diferenciam entre microgeração e minigeração, quanto à forma de conexão à rede e a potência instalada, dentre outras características.

Segundo Pinho e Galdino (2014, p.290), as diferenças quanto a potência instalada são:

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica com potência superior a 100 Kw e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

## **2.5 Normas Regulamentadoras (NRs)**

As NRs são Normas Regulamentadoras brasileiras que regulamentam e orientam sobre procedimentos obrigatórios que estão relacionados com a segurança e medicina do trabalho. Essas normas são de observância obrigatória pelas empresas em atividade no Brasil e que são regidas pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

### **2.5.1 Norma Regulamentadora NR-10**

Essa norma estabelece os requisitos e condições mínimas com o objetivo de implementar medidas de controle preventivo visando garantir a

saúde e segurança dos trabalhadores que interajam de forma direta ou indireta com instalações elétricas e serviços com eletricidade. (NR-10,2016)

### **2.5.2 Norma Regulamentadora NR-35**

Essa norma estabelece os requisitos e condições mínimas com o objetivo de implementar medidas de controle preventivo, planejamento, organização e execução visando garantir a saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com atividade em alturas, onde haja risco de queda. (NR-35,2014)

## **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A metodologia adotada foi uma revisão da literatura e pesquisas em revistas técnicas e sites de fabricantes com o intuito de adquirir dados necessários para redação de um manual de manutenção para Sistemas Fotovoltaicos instalados em residências e conectados à rede elétrica.

## **4 MANUTENÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

### **4.1 Manutenção de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR)**

Como qualquer equipamento ou instalação o SFCR deve passar por inspeção e manutenção regularmente, a fim de poder operar de maneira segura e eficiente impedindo ou pelo menos minimizando os riscos de

segurança e danos que possam ser causados aos componentes por falha no funcionamento do sistema. Essa manutenção deve ser realizada seguindo um plano de manutenção que deve levar em consideração as normas de segurança vigentes e também as recomendações de fabricantes dos equipamentos alvos da manutenção.

A manutenção de Sistemas Fotovoltaicos (SFV) de pequeno porte é simples e rápida, porém, os serviços de manutenção corretiva onde normalmente há necessidade de substituição de peças, devem ser realizados por pessoal capacitado. (Pinho e Galdino, 2014)

#### **4.1.1 Procedimentos e Normas de Segurança**

São comuns os SFCRs instalados em residências terem potência nominal acima de 1 kWp e tensões nominais acima de 100 volts em C.C., essas configurações tem capacidade de gerar correntes elétricas letais, além disso os geradores fotovoltaicos dos SFV normalmente encontram-se instalados sobre os telhados, o que coloca em risco de choque elétrico e queda quem tiver acesso a esse local.

Portanto, todo procedimento de manutenção em SFCR deve ser realizado por pessoal treinado conforme Norma NR-10 e curso de primeiros socorros, e NR-35 caso o sistema esteja instalado em altura. O trabalho deve ser efetuado com equipamentos de proteção individual (EPIs), e com instrumentos de medição e ferramentas isoladas, ou seja, apropriadas para trabalho com eletricidade.

Sempre que for realizar a manutenção do SFV, o técnico, deve manter-se isolado de partes energizadas e de pontos de aterramento do circuito, ou seja, deve usar luvas e calçados isolantes.

Antes de fazer a substituição de algum componente do SFCR o mesmo deve estar desconectado da rede e do gerador fotovoltaico, como os painéis fotovoltaicos produzem energia elétrica quando recebe luz solar, para “desliga-lo é necessário cobri-lo com um material opaco”.

O usuário deve conhecer as instruções de operação, segurança e acompanhamento periódico do SFCR.

#### **4.1.2 Manutenção Preventiva**

A Manutenção Preventiva deve atuar de acordo com um plano de manutenção pré-estabelecido e com intervalos definidos de tempo, com o objetivo de reduzir ou evitar a falha ou a perda de desempenho do equipamento.

Com inspeções periódicas nos SFCR, pequenos problemas podem ser identificados e corrigidos, mesmo com o sistema em operação. As inspeções devem ser iniciadas logo após a instalação e antes de conectá-lo a rede elétrica, essa primeira inspeção tem o objetivo de detectar alguma falha na instalação ou algum defeito de fabricação em algum dos componentes, e se estiver operando satisfatoriamente, pode ser utilizado para aquisição de dados que poderão ser utilizados como parâmetro para as próximas inspeções periódicas.

### **4.1.3 Manutenção preditiva**

Após se certificar de que o SFCR está operando satisfatoriamente deverá ser estabelecido um plano de manutenção onde será feito acompanhamento sistemático, como, por exemplo, ensaio termográfico e tensão de circuito aberto (Voc) do bloco gerador e tensão de circuito aberto de cada módulo, corrente de curto-circuito (Isc) de cada módulo e tensão de curto-circuito do bloco gerador. Normalmente a atuação da manutenção preditiva é feita com o equipamento dentro funcionamento normal, mas no caso do SFCR a produção de energia é interrompida, mesmo que por pouco tempo.

A grande vantagem da Manutenção Preditiva é de só atuar com base em uma modificação de parâmetro ou por perda de desempenho de algum componente do sistema, e se isso ocorrer haverá uma indicação da Manutenção Corretiva Planejada.

### **4.1.4 Manutenção Corretiva Planejada**

Se ao fazer o acompanhamento preditivo é observado uma perda de desempenho e ou produção, o próximo passo é identificar a causa, e em seguida deve ser avaliado se o componente mesmo defeituoso pode continuar em operação ou será necessário substituí-lo imediatamente por questão de segurança, em qualquer um dos casos deve ser verificado se o componente ainda está coberto pela garantia do fabricante, nesse caso será necessário verificar como proceder para troca ou reparo do componente junto a assistência técnica.

Caso o componente não esteja coberto pela garantia do fabricante ou fornecedor, a equipe de manutenção deverá, mediante autorização do cliente, substituir o componente o mais rápido possível caso o componente não possa continuar em operação por medida de segurança, ou agendar a substituição, caso possa continuar em operação mesmo com perda de desempenho.

#### **4.1.5 Manutenção Corretiva não Planejada**

Manutenção corretiva não planejada é a manutenção que acontece depois do fato já ocorrido de maneira inesperada, ocorrência que é praticamente impossível de se evitar, e que além de causar perda de produção, a quebra inesperada pode estender os danos a outros componentes do sistema. Mas se não pode ser evitado, pode ser levado a quase zero o número desse tipo de ocorrência, para isso, é necessário elaborar um bom plano de manutenção e segui-lo de maneira correta, observando prazos e fazendo todos os ensaios as medições para aquisição de dados no SFCR, para posteriormente serem comparados aos parâmetros de fábrica.

#### **4.1.6 Manutenção do Gerador Fotovoltaico**

##### **4.1.6.1 Inspeção Visual**

Deve ser verificada de a estrutura de fixação dos painéis não tem pontos de oxidação, se estão fixas e se os cabos de aterramento estão em bom estado, e bem fixados nos lugares devidos. Nos módulos, a cobertura de vidro não pode estar quebrada, deve estar limpa e transparente, a células

fotovoltaicas também não devem apresentar sinais de trincas ou descoloração e se há sombreamento dobre os módulos.

Quando houver necessidade de limpeza, esta deve ser realizada preferencialmente pela manhã ou no final da tarde, a fim de evitar um choque térmico, o que pode danificar os módulos já que estes atingem grandes temperaturas no meio do dia. A limpeza deverá ser feita com um pano macio, limpo e água, e só se muito necessário, detergente neutro, deve se tomar cuidado de fazer a limpeza, o pano deve estar sempre limpo, pois partículas grudadas no pano podem arranhar o vidro.

O que vai determinar a frequência da limpeza dos módulos fotovoltaicos é o lugar em eles estão instalados, se o SFCR estiver instalado em uma região de muita poeira pode ser necessário fazer a limpeza uma vez por mês, a fim de evita perda de rendimento no bloco gerador.

#### **4.1.6.2 Orientação**

Se for necessário o ângulo azimutal do módulo pode ser verificado com o auxílio de uma bússola e um mapa de declinação magnética, normalmente o painel fotovoltaico fica apontado para o norte verdadeiro no hemisfério sul, e para o sul verdadeiro quando o painel está localizado no hemisfério norte, e a bússola aponta para o norte magnético, daí a necessidade do mapa para fazer a correção.

Já o ângulo de inclinação pode ser verificado com a ajuda de um inclinômetro ou transferidor, o ângulo de inclinação normalmente é o mesmo da latitude em que o SFV está instalado, mas há outras possibilidades de orientação de acordo com o clima da região.

### **4.1.6.3 Termografia**

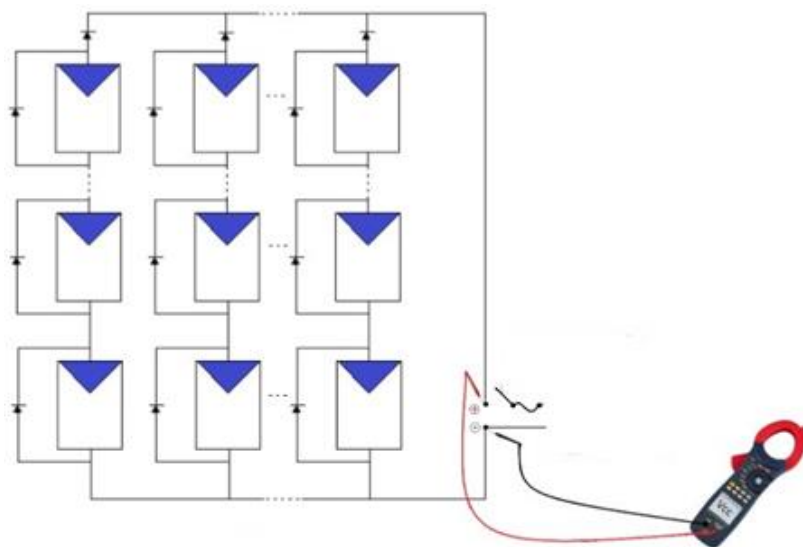
Para fazer a análise termográfica é necessário ter uma câmera termográfica infravermelho, com ela é possível detectar pontos superaquecidos no módulo fotovoltaico e nas conexões. Pontos superaquecidos nos módulos, podem ter várias causas, algumas mais simples de resolver, como, sombreamento ou sujeira sobre o módulo, outros nem tanto, como, falha em diodos, polarização inversa da célula ou falha nas soldas.

### **4.1.6.4 Inspeção Elétrica**

O desempenho do gerador fotovoltaico pode ser avaliado medindo a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), e a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ). Em condições padrões de ensaio a irradiância especificada é de  $1000\text{w/m}^2$  e a temperatura do modulo é de  $25^\circ\text{C}$ , como a corrente de curto-circuito varia de acordo com a incidência de radiação solar, deve-se usar um solarímetro para medir a radiação solar ao mesmo tempo em que é medida a corrente de curto-circuito, que devem ser compradas, com as especificações do fabricante.

Para medir a tensão de circuito aberto, o bloco gerador deve estar desconectado do resto do sistema, e a medição deve ser feita com um voltímetro de c.c., como mostra a figura 5.

Figura 5: Procedimento para medir a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) do gerador

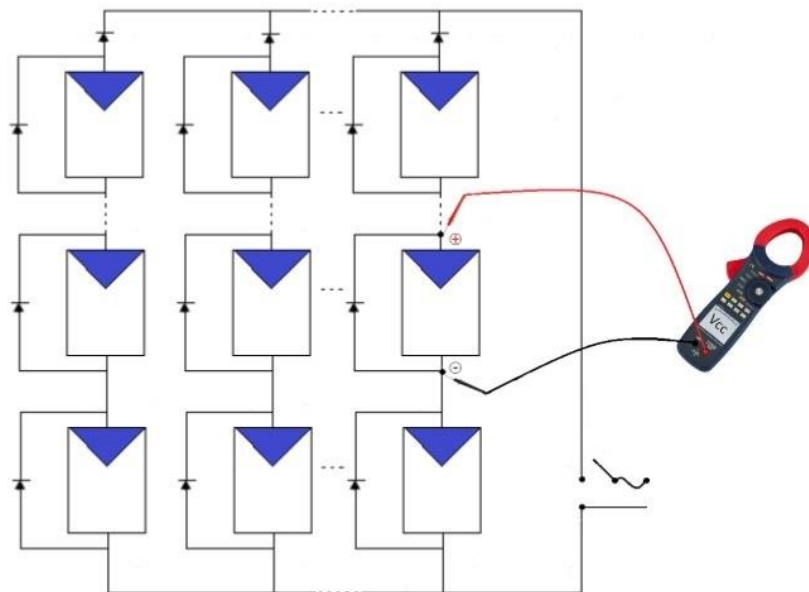


Fonte: Pinho e Galdino (2014)

Se o bloco gerador tiver mais de uma fileira, e se estas fileiras tiverem disjuntores ou fusíveis de proteção por fileira pode abrir o circuito medir fileira por fileira e fazer a comparação das fileiras.

Para medir a tensão de circuito aberto de cada painel deve se manter o circuito aberto e fazer a medição entre os terminais positivos e negativos de cada painel, como mostra a figura 6, o valor obtido deve der comparado com as especificações do fabricante, e corrigidos pelo coeficiente de temperatura do módulo, para fazer essa correção deve se medir a temperatura do módulo ao mesmo tempo em que foi feito a medição da tensão de circuito aberto.

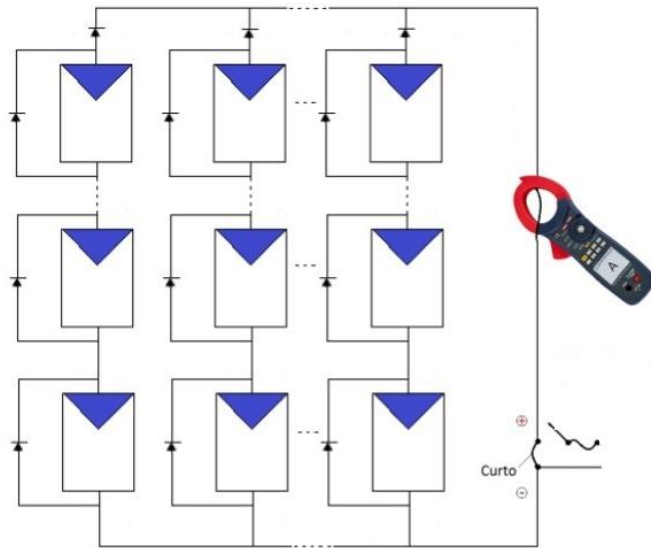
Figura 6: Procedimento para medir a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) do módulo



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

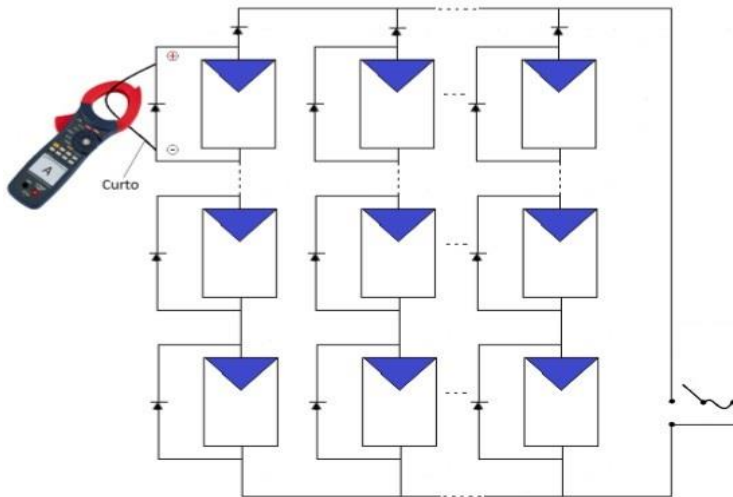
Após curto-circuitar os terminais positivo e negativo do bloco gerador, a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) pode ser medida com um alicate amperímetro de corrente contínua, como pode ser visto na figura 7. Para medir a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) do módulo/painel e necessário curto-circuitar somente o módulo/painel, a medição é feita com o auxílio de um fio que deverá ser conectado aos polos, como mostra a figura 8, o fio deve ser de bitola apropriada para a corrente gerada pelo módulo. Como a corrente de curto-circuito varia de acordo com a incidência de radiação solar, deve-se usar um solarímetro para medir a radiação solar ao mesmo tempo em que é medida a corrente de curto-circuito, depois é só comparar com as especificações do fabricante.

Figura 7: Procedimento para medir a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) do gerador



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

Figura 8: Procedimento para medir a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) do módulo

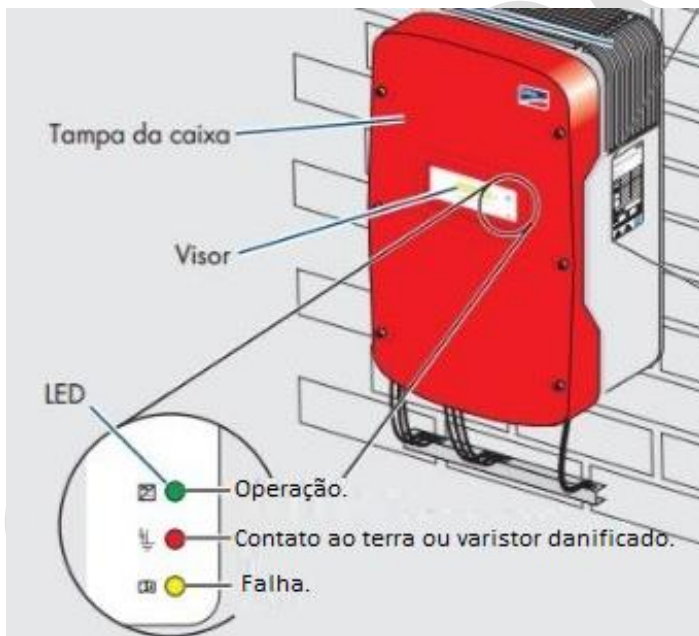


Fonte: Pinho e Galdino (2014)

#### 4.1.7 Inversores

A inspeção nos inversores é praticamente só visual, sempre deve seguir as orientações do fabricante, os inversores mais novos que são utilizados nos SFCR, geralmente possuem painel de Led ou Lcd, e informam em tempo real suas condições de funcionamento, como pode ser visto na figura 9.

Figura 9: Inversor *on grid tie*



Fonte: Energia Pura (2016)

Na inspeção visual é possível identificar componentes danificados, pontos de oxidação e presença de insetos, se o equipamento está instalado em local apropriado de acordo com sua classe de proteção (IP). Se o painel

apontar falha que não seja causada por problemas externos ao inversor, o mesmo deve ser levado para manutenção em laboratório.

#### **4.1.8 Condutores e Elérodutos e *String box***

- a) Verificar elérodutos, calhas e canaletas se estão bem fixados e se não apresentam sinais de oxidação, se os cabos e terminais estão em boas condições, fazer o reaperto dos terminais se necessário. Conexões frouxas ou danificadas podem aumentar a temperatura do circuito, o que pode desarmar dispositivos de segurança e desativar o sistema;
- b) Verificar se os cabos foram dimensionados corretamente, cabos subdimensionados podem causar queda de tensão;
- c) Verificar a existência de curto-circuito entre condutores, entre condutores e elérodutos, e entre condutores e carcaça.
- d) Verificar se as caixas de junção estão em perfeito estado sem indícios de trinca ou infiltração.
- e) Verificar se os cabos do sistema de aterramento estão conectados corretamente no SFCR, (gerador fotovoltaico, string box, armários, carcaças, elérodutos).
- f) Na string box devem ser verificados as condições dos fusíveis, cabos, disjuntores ou chaves de seccionamento fazendo o reaperto dos conectores se necessário

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se que, o objetivo foi alcançado satisfatoriamente, já que foi possível através da pesquisa, obter os dados necessários para uma futura redação de um manual simplificado de manutenção para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica e instalados em residências.

A pesquisa bibliográfica foi de suma importância para realização da pesquisa, mas um estudo de caso possivelmente poderia agregar valor à pesquisa.

Uma sugestão para pesquisas futuras, seria um estudo de caso de manutenção de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica utilizando-se de um traçador de curva I x V.

### **PROPOSAL FOR WRITING A SYSTEM MAINTENANCE MANUAL PHOTOVOLTAIC CONNECTED TO THE MAINS INSTALLED IN RESIDENTIAL**

#### **Abstract**

This paper presents a study on maintenance of photovoltaic systems connected to the grid, aimed to acquire data to make allowances for editing a photovoltaic system maintenance manual installed in residence and connected to the grid. We use as methodology the literature review and research in technical journals and manufacturer sites. The result was the acquisition of data for a possible drafting of a manual that will bring maintenance methods, using indicators, with the consumer specifications on how to run properly maintain or hire a specialized company to do it, aware of the procedures that should be adopted in the provision of adequate service.

**Keywords:** Maintenance. Photovoltaic system. Photovoltaic system connected to the grid.

## REFERÊNCIAS

ELECTRONICA. **Painel Solar Fotovoltaico.** Disponível em: <http://www.electronica-pt.com/painel-solar-fotovoltaico> Acesso em 20 maio 2016.

ENERGIA PURA. **Inversor grid tie sma 7 kw sunny mini central** <https://www.energiapura.com/content/inversor-grid-tie-sma-7-kw-sunny-mini-central>. Acesso em 01/07/2016

GALDINO, M. A.; PINHO, J. T. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. **http://www.cresesb.cepel.br/**. Disponível em: <http://goo.gl/FyGNi3> Acesso em: 01 nov. 2015.

HANEY, JOSH E BURSTEIN, ADAM. **PV System Operations and Maintenance Fundamentals.** Disponível em: <http://goo.gl/tqYivP>. Acesso em 20/05/2016

KARDEC, Alan & NASCIF, Júlio, **Manutenção: Função Estratégica – 3 Edição**, Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2010.

PHB. **String Box cc+ca phb 2 X Strings** <http://goo.gl/zUhwJ6>. Acesso em 04/07/2016

PROFELECTRO. **Energia Solar Célula Fotovoltaica** <http://www.profelectro.info/energia-solar-celula-fotovoltaica/>. Acesso em 03/07/2016

SOLARIZE. **Os impactos da regulamentação ANEEL 482 e da legislação tributária no retorno financeiro de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.** Disponível em: <http://goo.gl/A91F6c>. Acesso em 02/07/2016

TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE, **Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial**, Belo Horizonte, 2011.

XENOS, HARILAU G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, 2ª Edição Rio de Janeiro: Falconi, 2014.

# DETECÇÃO DE FALHAS EM ROLAMENTOS POR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM BANCADA DIDÁTICA

MAURÍCIO MASSAO KOGA<sup>1</sup>  
FLAVIO ANTUNES FERREIRA<sup>2</sup>  
SAULO AGUIAR SAIS<sup>3</sup>  
APARECIDO SERAPIAO DOS SANTOS<sup>4</sup>

## Resumo

Neste trabalho foi realizado um estudo comparativo entre técnicas de análise de vibração em rolamentos utilizando o domínio do tempo (valor global RMS) e o domínio da frequência em um equipamento rotativo. Inicialmente são medidos e comparados os valores globais RMS antes e depois da manutenção. Em seguida são aplicados os modelos matemáticos para conhecer as frequências características de defeitos destes rolamentos e comparar com os valores encontrados nas medições de vibração. Na primeira análise os resultados indicam altos níveis de vibração no equipamento devido às falhas na montagem e defeitos em rolamentos antes da manutenção. Realizado as correções necessárias, os níveis de vibração diminuíram satisfatoriamente, conforme a norma ISO 2372. Este estudo possibilitou uma boa compreensão para determinar o estado operacional de um equipamento rotativo e identificar as causas de defeitos mecânicos mediante a análise de vibração dos rolamentos.

**Palavra-chave:** Valor Global. Rolamentos. Frequências.

<sup>1</sup> Graduação – Tecnólogo em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia

do SENAI Londrina. e-mail: Mauricio-koga@hotmail.com

<sup>2</sup> Especialista – Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. e-mail: flavio.ferreira@pr.senai.pr

<sup>3</sup> Especialista – Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. e-mail: Saulo.saes@pr.senai.pr

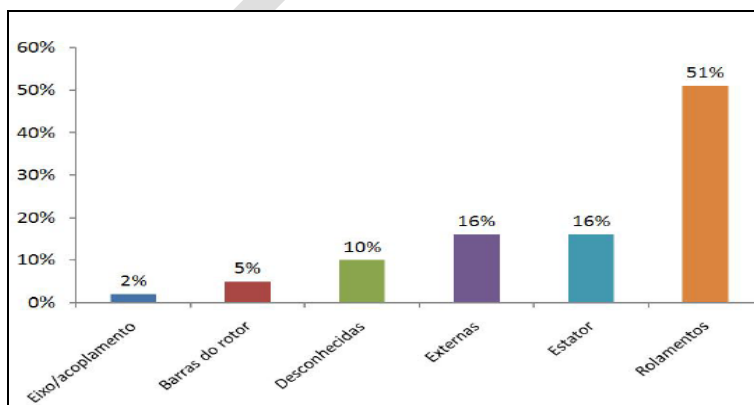
<sup>4</sup> Especialista - Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. e-mail: aparecido.serapiao@pr.senai.pr

## INTRODUÇÃO

Na economia globalizada dos dias de hoje, a sobrevivência das organizações depende de sua habilidade e rapidez de inovar e efetuar melhorias contínuas. Como resultado, as organizações vêm buscando incessantemente novas ferramentas de gerenciamento, que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços (KARDEC & NASCIF, 2013).

A manutenção, como função estratégica das organizações, é responsável direta pela disponibilidade dos ativos, tem importância capital nos resultados da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for à gestão da manutenção. Segundo dados estatísticos da associação brasileira de manutenção e gestão de ativos, (ABRAMAN, 2003), o Brasil tem custo de manutenção por faturamento bruto de 4,3% do produto interno bruto (PIB) contra a média mundial de 4,1%, isso significa para um PIB Fundação Getúlio Vargas (FGV) de US\$ 451 bilhões - representam US\$ 19 bilhões em gastos em manutenção. Portanto, esta realidade demonstra que as organizações devem procurar as melhorias contínuas na sua gestão da manutenção, buscando-se incessantemente os conhecimentos inovadores e aplicação das melhores práticas da manutenção já praticadas nas organizações dos países do primeiro mundo.

Figura 1- Estatística de falhas em motores assíncronos



Fonte: Araujo (2011) adaptado de EASA (2003).

Um estudo da (EASA 2003) mostra uma estatística de falhas em motores elétricos, onde 51% das falhas podem ou estão diretamente

relacionadas aos rolamentos. A Figura 1, elaborada com dados extraídos de Electrical Apparatus Service Association (EASA, 2003), demonstra ser os rolamentos, dentre um conjunto de falhas, a principal causa de falhas em motores assíncronos (ARAUJO, 2011).

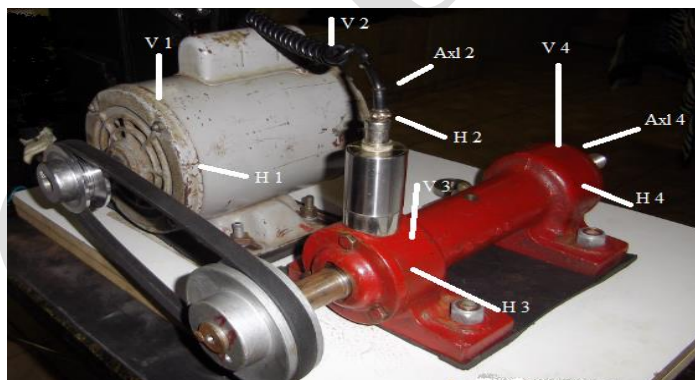
Folgas, defeitos ou desalinhamentos de rolamentos ou mancais de máquinas rotativas refletem-se na alteração de frequências ou no surgimento de novas frequências (MARÇAL, 2005).

O monitoramento das condições vibratórias pode ser dividido em três áreas principais: detecção, diagnóstico e prognóstico. A detecção ocorre com uma alteração nas condições vibratórias, mecânicas e elétricas da máquina. O diagnóstico determina a localização e o tipo da falha, e o prognóstico envolve a estimativa da vida restante do rolamento danificado (ALMEIDA, 2007).

O objetivo deste trabalho é comparar técnicas de análise de vibração em valor global RMS e a técnica do domínio da frequência, dotado de referenciais práticos que permitam o diagnóstico de defeitos com precisão e antecedência adequada.

Parte-se da análise de sinais de vibração reais que acontecem em duas etapas distintas, obtidos a partir de uma bancada didática como os componentes: motor acoplado a um eixo de serra, Figura 2.

Figura 2 – Bancada didática: motor ½ CV acoplado a eixo de serra.



Fonte: do autor (2016)

A primeira etapa acontece com o equipamento apresentando nível de ruídos bastante elevados, do qual se constatou problemas de desalinhamento, tensão excessiva da correia, eixo e rolamentos desgastados. A segunda etapa acontece com o conjunto revisado com eixo e rolamentos novos. Os sinais captados para a análise são calculados e plotados em planilha e gráficos

utilizando o Microsoft EXCEL. Os resultados das análises foram avaliados por parâmetros de valor global RMS conforme norma ISO 2372 e pelo domínio da frequência, com os quais foi possível identificar as falhas no equipamento e nos rolamentos.

O uso da análise de vibrações para investigar falhas nos equipamentos rotativos, bem como realizar um acompanhamento periódico de sua evolução, possibilita subsídios de informações concretas para a tomada de decisões da equipe de manutenção, o qual fará o planejamento adequado para a substituição das peças defeituosas. Esta ação possibilita a economia em recursos humanos e financeiros como tempo de produção, consumo de material sobressalente, e até mesmo reduzir o impacto ambiental.

## ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

A premissa fundamental sobre a qual se baseia a análise de vibração como técnica aplicada à manutenção industrial é: “Cada componente ou cada tipo de deficiência mecânica de uma máquina em operação produz uma vibração de frequência específica que em condições normais de funcionamento, alcança uma amplitude máxima determinada” (YA'CUBSOHN, 1983).

Quando esses componentes operam continuamente a alta velocidade, o desgaste e outros problemas vão surgindo, fazendo aumentar o nível de vibração (CAMPOS, 2011). Os principais defeitos que normalmente causam um aumento dos níveis de vibração são:

*Desbalanceamento (desequilíbrio) das partes rotativas – condição que existe num rotor quando a força ou movimento vibratório é transmitido aos seus rolamentos devido a forças centrífugas; também pode ser definido como distribuição desigual de uma massa sobre o eixo de rotação do rotor. As partes rotativas estão balanceadas quando o eixo de rotação (eixo sobre o qual o rotor giraria se não estivesse bloqueado pelos rolamentos) e o eixo geométrico (eixo físico do rotor) estão coincidentes; O desbalanceamento tende a ocasionar elevada vibração radial.*

*Desalinhamentos – os desalinhamentos acontecem nos pontos de ligação entre equipamentos e podem ser de três tipos: angular – quando a linha central de dois veios abrem um ângulo; paralelo – quando apesar dos veios estarem alinhados existe um deslocamento entre eles; Angular e Paralelo – quando estão presentes os dois tipos anteriores; Normalmente, eixos desalinhados tendem a ocasionar*

*vibrações radiais (horizontal e vertical), dependendo do suporte, e elevada vibração axial.*

*Rolamentos e engrenagens danificadas ou desgastadas – os problemas em rolamentos e engrenagens podem surgir devido a desbalanceamentos e desalinhamentos, que provocam um esforço anormal no rolamento ou engrenagem levando à sua falha, ou devido as solicitações normais de funcionamento. Tanto os problemas nos rolamentos como engrenagens podem ser detectados através da medição do envelope de aceleração (o envelope de aceleração é uma gama específica de altas frequências).*

*Problemas em correias e correntes – os problemas em correias e correntes ocorrem fundamentalmente devido a desalinhamento de polias e tensões de funcionamento inadequadas.*

*Folgas/frouxidão - as folgas mecânicas podem ser causadas devido a componentes rotativos soltos ou má fixação do equipamento à fundação (CAMPOS, 2011) 13p.*

---

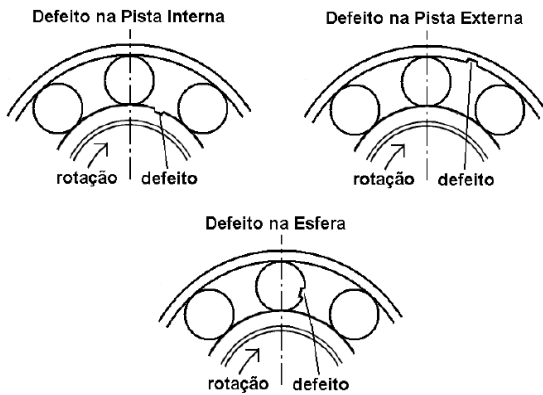
## **MODO DE FALHA DOS ROLAMENTOS**

Os modos de falhas mais comuns são: fadiga, desgaste, corrosão, lubrificação insuficiente ou excessiva e contaminação por meio abrasivo. Os efeitos resultantes dos fatores acima incluem trincas ou fraturas, desgaste das pistas e dos elementos rolantes, lascamento e corrosão, sendo que qualquer um desses em estágio avançado pode comprometer o funcionamento do mancal de rolamento (EDWARDS, LEES e FRISWELL, 1998).

De todos os tipos de falhas, o lascamento é considerado o mais comum deles e é causado basicamente pela fadiga no contato da esfera com a pista durante a operação do mancal de rolamento, o que normalmente é resultado de tensões cíclicas que surgem nas superfícies de contato da esfera com a pista (OLIVEIRA, 2005). A falha inicia-se por trincas de fadiga e, se progredir, pode iniciar uma trinca na pista que irá condenar o rolamento (OLIVEIRA, 2005).

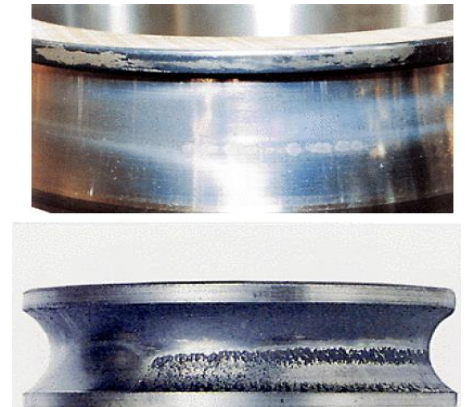
O lascamento pode ocorrer nos três principais elementos do mancal de rolamento: pista externa, pista interna ou na esfera, como representado na Figura 3. Na Figura 4 se observa exemplos de danos em pista interna.

Figura 3 – Danos em rolamento



Fonte: OLIVEIRA (2005)

Figura 4- Danos na pista interna



Fonte: NSK (2001)

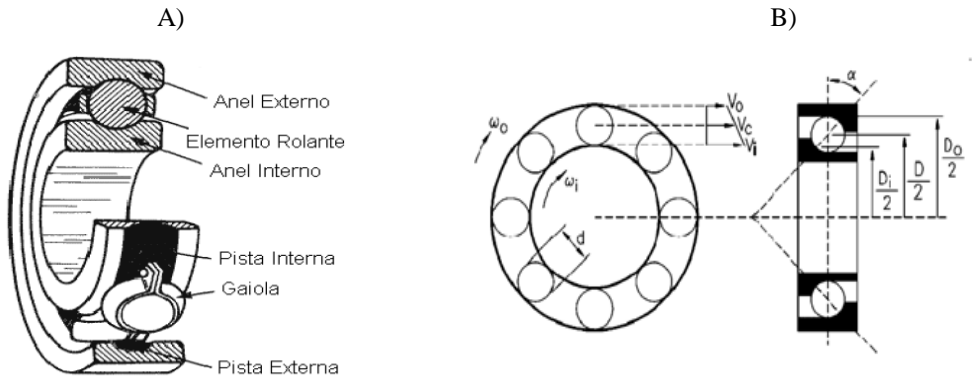
## GEOMETRIA E CINEMÁTICA DOS ROLAMENTOS

Um entendimento da geometria e cinemática dos mancais de rolamentos é essencial para a detecção de falhas do rolamento, pois ela determina as velocidades rotacionais dos elementos do mancal em relação uns aos outros e as frequências teóricas de falha do rolamento (ALMEIDA, 2007).

Na Figura 5, A) apresenta os componentes de um rolamento fixo de esferas e B) apresenta o desenho esquemático de um rolamento de esferas de contato angular, e o Quadro 1 fornece os parâmetros, no caso mais geral, em que a pista interna é giratória e a pista externa é fixa.

As falhas nos rolamentos tipicamente ocorrem devido a defeitos localizados na pista externa, pista interna, nos elementos rolantes ou na gaiola que direciona os elementos rolantes. Estes defeitos geram uma série de impactos de vibração devido ao choque dos elementos rolantes com a superfície do defeito. Estas vibrações ocorrem em frequências características, que são estimadas em função da velocidade da rotação do eixo e da geometria dos componentes do rolamento. Estas frequências são denominadas de frequências características dos defeitos (FCDs) (MESQUITA, SANTIAGO, *et al.*, 2002).

Figura 5- A) Componentes do rolamento; B) Rolamento de esfera de contato angular



Fonte: (MESQUITA, 2002).

Fonte: (ALMEIDA, 2007)

Quadro 1- Parâmetros de dimensional e físico

D	Diâmetro primitivo do mancal de rolamento
$D_i$	Diâmetro da pista interna
$D_o$	Diâmetro da pista externa
$\alpha$	Ângulo de contato
d	Diâmetro da esfera
$\omega_i$	Velocidade angular pista interna
$\omega_o$	Velocidade angular pista externa
$\omega_c$	Velocidade angular da esfera
$V_i$	Velocidade tangencial da pista interna
$V_o$	Velocidade tangencial da pista externa
$V_c$	Velocidade tangencial da esfera

Fonte: Oliveira (2005)

Na maioria dos casos a pista externa é fixa e a pista interna gira junto com o eixo de rotação da máquina. As fórmulas e unidades para o cálculo das frequências características dos rolamentos para pista externa fixa estão representadas no Quadro 2 e 3 respectivamente.

Quadro 2- Fórmulas das frequências características dos rolamentos para pista externa fixa.

LOCALIZAÇÃO DO DEFEITO	EQUAÇÕES DE FREQUÊNCIA
<b>Defeito na pista interna</b> (BPFI) “ball pass frequency of the inner race”	$BPFI = \frac{N}{2} f_r \left(1 + \frac{d}{D}\right) \cos\alpha$
<b>Defeito na pista externa</b> (BPFO) “ball pass frequency of the outer race”	$BPFO = \frac{N}{2} f_r \left(1 - \frac{d}{D}\right) \cos\alpha$
<b>Defeito na Gaiola</b> (FTF) “fundamental train frequency”	$FTF = \frac{N}{2} f_r \left(1 - \frac{d}{D}\right) \cos\alpha$
<b>Defeito na esfera</b> (BSF) “ball spin frequency”	$BSF = \frac{D}{2d} f_r \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos\alpha\right)^2\right]$

Fonte: (Mesquita, Santiago, *et al.*, 2002)

Quadro 3- Parâmetros de dimensional, físico e rotacional.

$N$	Número de elementos rolantes (esferas)
$f_r$	Frequência de rotação (Hz)
$d$	Diâmetro do elemento rolante (mm)
$D$	Diâmetro primitivo (mm)
$\alpha$	Ângulo de contato

Fonte - (MESQUITA, SANTIAGO, *et al.*, 2002).

As quantidades geométricas e físicas que juntamente com a velocidade de rotação são necessárias para o cálculo das frequências dos defeitos são: o número de elementos rolantes,  $N$ , o diâmetro destes elementos,  $d$ , o diâmetro médio do rolamento,  $D$ , e o ângulo de contato,  $\alpha$ . (MESQUITA, SANTIAGO, *et al.*, 2002)

O método da análise espectral consiste em calcular as FCDs, fazer a medição do sinal de vibração do rolamento e então obter o espectro de frequências. Comparando-se as frequências identificadas no espectro com as FCDs calculadas, pode-se determinar se está havendo um defeito no rolamento e qual componente está defeituoso. (MESQUITA, SANTIAGO, *et al.*, 2002)

As expressões das FCDs são baseadas na consideração de movimento rolante puro. Contudo, na realidade algum deslizamento pode ocorrer causando leve desvio nos valores das frequências características. Portanto, estas equações devem ser consideradas apenas como uma aproximação do valor real (MESQUITA, SANTIAGO, *et al.*, 2002).

## 1.1 Parâmetros de Medição

O acompanhamento e a análise de vibração estão entre os mais importantes métodos de predição em vários tipos de indústrias e os parâmetros de vibração relacionados com máquinas rotativas são usualmente expressos em termos de deslocamento, velocidade e aceleração. (KARDEC & NASCIF, 2013)

Todas as três representam o quanto o equipamento está vibrando e a frequência é a outra variável de importância na análise de vibração, que ajuda a identificar a sua origem, ou seja, o que está causando a vibração. E finalmente, a fase indica onde o ponto pesado se encontra em relação ao sensor de vibração. (KARDEC & NASCIF, 2013)

Essas variáveis são representadas pelas fórmulas na Tabela 1, na Tabela 2 apresenta as relações matemáticas para compreensão das variáveis de velocidade e aceleração.

Tabela 1- Representação matemática das variáveis de vibração relacionada com máquinas rotativas.

Parâmetros	Valores
Deslocamento	$x = A \cdot \text{sen}(\omega t)$
Velocidade	$v = A\omega \cdot \text{cos}(\omega t) = \frac{dx}{dt}$
Aceleração	$a = -A\omega^2 \cdot \text{sen}(\omega t) = \frac{dv}{dt}$

Fonte: KARDEK & NASCIF (2013) p.276.

Onde:

A = amplitude do vetor (vibração) de zero a pico em mm.

$\omega$  = velocidade angular em rad/ seg.

t = tempo em segundos.

Como  $\omega = 2\pi f$ , onde f = frequência em ciclos/segundo, substituindo nas formulas de deslocamento, velocidade e aceleração, verificamos que:

✓ a amplitude de deslocamento independe da frequência;

- ✓ a amplitude de velocidade crescerá proporcionalmente à frequência\*;
- ✓ a amplitude de aceleração crescerá com o quadrado da frequência\*.

\*Para um valor constante da amplitude de deslocamento.

Tabela 2 - Relações matemáticas das variáveis, velocidade e aceleração.

$V = 2\pi f A$	$a = (2\pi f)^2 A$
Fonte: KARDEK & NASCIF (2013) p. 277.	

## 1.2 Valor Global

As máquinas são elementos mecânicos complexos, articulados. As peças que sofrem excitação podem oscilar e as oscilações transmitem-se pelas articulações aos demais elementos acoplados. O resultado é um complexo de frequências que caracteriza o sistema.

Cada vez que uma peça altera suas características mecânicas por desgaste ou trinca, uma componente de frequência do sistema será alterada. Havendo alteração no acoplamento entre as peças, altera o coeficiente de transmissão do sinal entre as peças e, em consequência, a forma de frequência global do sistema. (MARÇAL, 2005)

O valor RMS é uma medida da energia contida no sinal. Conforme descrito por Lebold et. al. (2000), o valor RMS é útil para acompanhar o nível global de energia do sinal, o que pode dar bons indícios de presença de falhas, contudo não permite a identificação de qual o componente falhado. (PRADO Jr., 2003)

Este valor representa 0,707 vezes o pico de velocidade sendo normalmente expresso em mm/s. A definição do tipo de amplitude a utilizar, deslocamento, velocidade e aceleração, depende do equipamento a analisar, isto é, depende da frequência a que o equipamento funciona. (CAMPOS, 2011)

A caneta de vibração nos fornece o valor global da velocidade de vibração (mm/s RMS) na faixa de frequência de 10 e 1,000 Hertz (Hz). (KARDEC & NASCIF, 2013)

O diagnóstico de um eventual defeito é realizado através da detecção de alguma alteração na assinatura mecânica do equipamento. Como um

padrão em muitas indústrias em sua manutenção preditiva, é utilizada uma pré-análise para determinar se um dado equipamento necessita de uma análise mais aprofundada, e é definida por valores globais superiores a um valor limite. (FUJIMOTO, 2005) Estes valores limites são divididos em duas categorias (FUJIMOTO, 2005):

- alerta (quando o equipamento está em uma condição anormal);
- alarme (quando o equipamento inicia processo de falha terminal).

Para definição destes limites, podem ser utilizadas normas como a ISO-2372 e a VDI-2056.

A ISO 2372 e 394 fornece um gráfico para julgamento da severidade de vibração em máquinas rotativas, Quadro 4, o critério é adotado para vibração medida na carcaça em uma localização específica em cada mancal. (KARDEC & NASCIF, 2013).

Quadro 4 - Normas ISO 2372 / VDI 2056.

NORMAS ISO 2372 / VDI 2056				
Valor RMS da Velocidade de Vibração (mm/s)	Classificação dos Equipamentos			
	Classe I até 15 KW (20 CV)	Classe II 15 KW a 75 KW	Classe III acima de 75 KW base rígida	Classe IV acima de 75 KW base flexível
0,28				
0,45				
0,71		<b>BOM</b>		
1,12				
1,80		<b>SATISFATÓRIO</b>		
2,80				
4,50		<b>INSATISFATÓRIO</b>		
7,10				
11,20		<b>INACEITÁVEL</b>		
18,00				
28,00				
45,00				

Fonte: do autor(2016) adaptado de MGS Tecnologia (2015).extraído de (ISO, 1974).

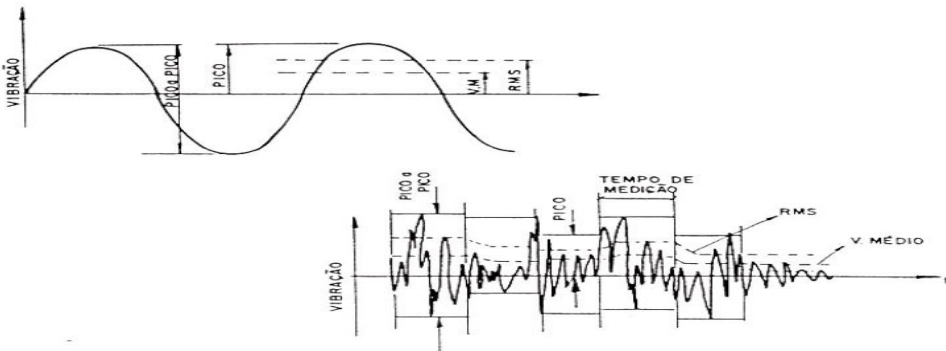
### 1.3 Valores de Pico e Valor Médio

Os valores de zero a pico e pico a pico, Figura 6, são as diferenças entre o valor da onda e zero, e entre o maior e o menor valor da onda em um intervalo de tempo. Apesar de não apresentar relação nas análises de vibrações, representam bom indicativo da resposta do equipamento a choques mecânicos, folgas e tensões pela vibração. (MENNA, 2007)

O valor de pico a pico é útil na identificação do nível de sinais de curta duração. (PRADO Jr., 2003)

O valor médio, apesar de não estar relacionado com a magnitude de nenhuma grandeza física, contempla em sua formulação, dados históricos da vibração em um determinado intervalo de tempo. (MENNA, 2007)

Figura 6 - Comparação: zero a pico, pico a pico, valor médio e RMS.



Fonte: MENNA (2007).

### 1.4 Análise Pelo Domínio da Frequência

O método de análise de frequências, baseado no teorema de Fourier, estabelece que qualquer função periódica possa ser decomposta por uma série de ondas sinusoidais puras com frequências distintas e múltiplas harmônicas da frequência fundamental. Estas componentes constituem o espectro de frequência da vibração. Ao se utilizar transdutores sensores (acelerômetros) para a aquisição de tal parâmetro e posterior análise, o espectro de vibração de um sistema pode ser levantado. Observando-se a amplitude dos picos em determinadas frequências e relacionando-se as amplitudes observadas com as

da frequência fundamental do sistema (rotativo), pode-se chegar a um diagnóstico do estado de funcionamento ou alterabilidade em curso do sistema. (MARÇAL, 2005).

## AQUISIÇÃO DE DADOS

O instrumento de coleta de dados é o NK 100 da TEKNIKAO Figura 7, este é um analisador, medidor de vibrações e balanceador dinâmico para equipamentos rotativos. O sensor de vibração é o acelerômetro NK 20 da TEKNIKAO, Figura 8.

Figura 7 – Analisador de vibração NK  
100



Fonte: Importécnica (1945)

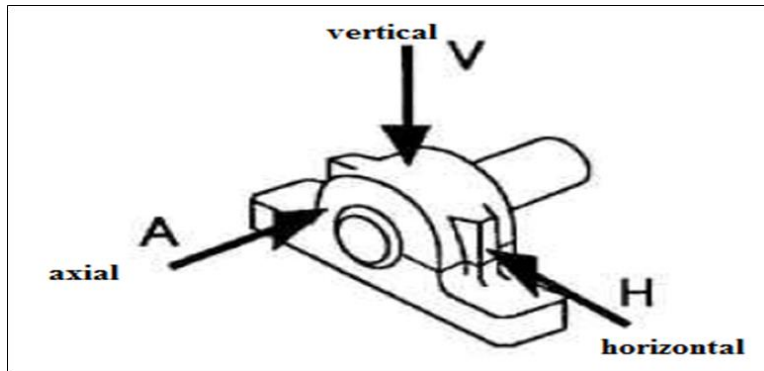
Figura 8 – Acelerômetro NK 20



Fonte: TEKNIKAO (2015).

Os pontos de medição devem ser selecionados de modo que a rota de transmissão seja a mais curta e rígida possível. Pontos macios e flexíveis, ou pontos que sofrem amortecimento devem ser evitados. (LAGO, 2007). A Figura 9 e Figura 2 indicam os pontos de medição das vibrações.

Figura 9- Plano de leitura.



Fonte – Lago(2007)

A correta aquisição de dados é primordial para uma análise de vibração. Os rolamentos a serem analisados devem ser identificados para obtenção de informações dos parâmetros para a análise de vibração.

## DETERMINAÇÃO DOS SINTOMAS DE VIBRAÇÃO

Um desbalanceamento simples, que é talvez a forma de vibração mais básica, é vista no espectro de vibração como um valor mais elevado no ponto correspondente à frequência de rotação do equipamento (MARTINS, 2012). O desbalanceamento produz um sinal com a mais alta amplitude e com a menor frequência (1 RPM) (LAGO, 2007).

Outro defeito que pode aparecer nos rolamentos é a folga. Esta pode ser entre o rolamento e mancal/eixo ou então no próprio rolamento. As folgas aparecem nos espectros de vibrações nas frequências de rotação do eixo e suas harmônicas (LAGO, 2007).

Um desalinhamento paralelo por sua vez, gera no espectro de vibração um sinal mais elevado em 2x à rotação nominal, e “reflexos” menores em 1x e 3x a rotação nominal (MARTINS, 2012).

Alguns picos serão maiores que outros devido a uma coincidência com alguma ressonância estrutural ou mesmo por coincidir com outra fonte de vibração, quando a folga se torna excessiva podem surgir harmônicos de meia ordem ou sub-harmônicos, neste caso tende a ser de forma aleatória entre diferentes locais e planos de medição (ARCO-VERDE, 2008) *apud*

(GOLDMAN, 1999) 352p. O Quadro 5 ilustra as principais anomalias ligadas à vibração.

Quadro 5 - principais anomalias de vibração

CAUSA	VIBRAÇÃO		OBSERVAÇÕES
	FREQÜÊNCIA	DIREÇÃO	
Turbilhão de óleo	De 0,42 a 0,48 X FR  FR = Freqüência de rotação	Radial	Unicamente sobre mancais lisos hidrodinâmicos com grande velocidade.
Desbalanceamento	1 x FR Radial	Radial	Intensidade proporcional à velocidade de rotação.
Defeito de fixação	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Defeito de alinhamento	2 x FR	Axial e radial	Vibração axial em geral mais importante, se o defeito de alinhamento contém um desvio angular.
Excitação elétrica	1, 2, 3, 4 x 60Hz	Axial e radial	Desaparece ao se interromper a energia elétrica.
Velocidade crítica de rotação	Freqüência crítica do motor	Radial	Aparece em regime transitório e desaparece em seguida.
Correia em mau estado	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Engrenagens defeituosas	Freqüência de engrenamento = F F = n° de dentes x FR árvore	Radial + axial	Banda lateral em torno da freqüência de engrenamento.
Pinhão ("falsa volta")	F ± FR pinhão	Radial + axial	Bandas laterais em torno da freqüência de engrenamento devido às "falsas voltas".
Excitação hidrodinâmica	Freqüência de passagem das pás	Radial e axial	
Deterioração do rolamento	Altas freqüências	Radial e axial	Ondas de choque causadas por escamações.

Fonte: (MARINHO, 1995).

## APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 1.5 Análise em valor global RMS

Conforme norma ISO 2372, o motor de ½ CV (Cavalo Vapor) indicado na placa de identificação, corresponde a 0,367 kW (Kilo Watt), ou seja, classe 1 da norma ISO 2372. O Quadro 6 demonstra um relatório simplificado das leituras globais antes e depois da correção.

Na primeira leitura, foi verificado maior amplitude no ponto 2 V (mm/s – velocidade). Nos pontos referentes ao mancal, é possível verificar

amplitudes elevadas principalmente em aceleração ( $m/s^2$ ), indicando um nível de falhas inaceitável, conforme apontado anteriormente no Quadro 5.

Na segunda leitura, com as correções de desalinhamento, folgas e substituição dos rolamentos, foi observado grande melhora dos níveis de vibração do conjunto. Conforme a norma ISO 2372, o equipamentos apresenta um nível bom de operação.

Quadro 6- Valores globais do conjunto motor ponto 1 e 2; mancais ponto 3 e 4.

valores globais da 1ª análise					
motor			mancal		
ponto	mm/s	$m/s^2$	ponto	mm/s	$m/s^2$
1V	4,42	4,91	3V	13,00	15,59
1H	6,67	6,76	3H	15,04	36,60
2V	8,37	6,33	4V	9,1	20,10
2H	6,91	6,25	4H	7,50	31,51
2Axl	4,01	6,88	4Axl	6,40	19,10
valores globais da 2ª análise					
motor			mancal		
ponto	mm/s	$m/s^2$	ponto	mm/s	$m/s^2$
1V	0,69	0,72	3V	1,30	1,08
1H	1,40	1,13	3H	1,55	1,17
2V	0,80	0,60	4V	0,83	0,92
2H	0,99	0,75	4H	1,95	1,36
2Axl	1,55	1,15	4Axl	0,97	0,67

Fonte: do autor (2016).

## 1.6 Análises dos Espectros das Frequências

Calculando os dados conforme as equações de frequências características dos defeitos (FCDs) obtêm os valores apresentados no Quadro 6.

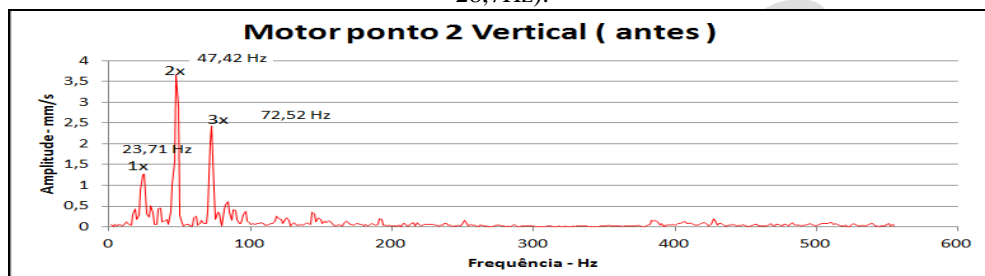
Quadro 6 – Resultados calculados em planilha Microsoft Excel das FCDs.

1ª Análise											
rolamentos do motor				6203				6202			
RPM nominal	RPM medido	Freq. calculada	Freq. Medida	BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1720	1720	28,27	28,66	75,45	125,22	54,24	10,78	74,84	125,82	51,88	10,69
rolamentos do mancal				6205				6205			
RPM nominal	RPM medido	Freq. calculada	Freq. Medida	BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
.	1320	22	22,02	76,45	119,12	51,88	8,76	76,45	119,12	51,88	8,76
2ª Análise											
rolamentos do motor				6203				6202			
RPM nominal	RPM medido	Freq. calculada	Freq. Medida	BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1720	1666,0	27,8	27,77	73,08	121,29	52,53	10,44	72,49	121,87	51,12	10,36
rolamentos do mancal				6205				6205			
RPM nominal	RPM medido	Freq. calculada	Freq. Medida	BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
.	1166,0	19,44	19,44	69,68	105,22	45,83	7,74	69,68	105,22	45,83	7,74

Fonte: do autor (2016)

Na primeira leitura do ponto V2, Figura 10, espectros com a segunda ordem maior (2x) são evidências de desalinhamento, já o terceiro pico (3x), é o indício de folgas, conforme comentado no capítulo 6. Um espectro típico de folga não indica o local exato da folga, que pode ser desde a estrutura até folga nos mancais. O espectro de vibração, evidência o desalinhamento na transmissão e também a folga entre a polia motora e o e eixo do motor. Pode-se considerar também a folga na estrutura do conjunto.

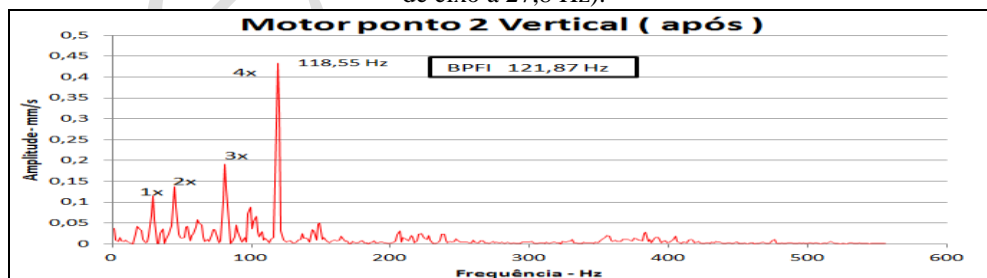
Figura 10- Espectro em Velocidade do motor (ponto V2 a 1720 RPM; frequência do eixo a 28,7Hz).



Fonte: do autor (2016).

A Figura 11 ilustra o gráfico da Posição V2 após a revisão, indicando a redução da amplitude dos espectros de folga. Uma frequência característica de defeito na pista interna (BPMI) coincidiu com o pico 4x. Para se determinar se é falha de rolamento ou não será necessário acompanhar a evolução de desgaste do equipamento.

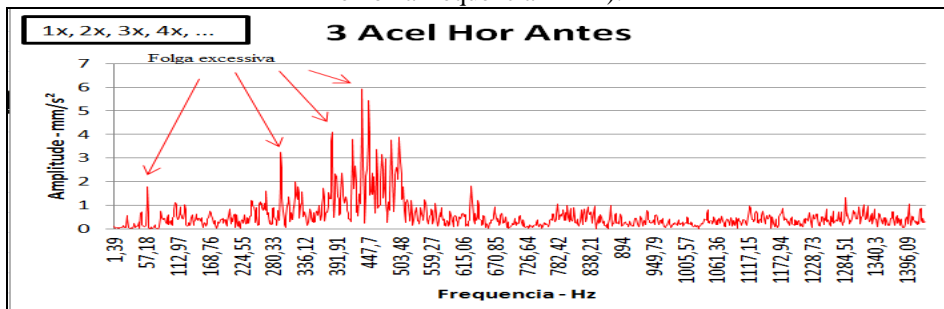
Figura 11 – Espectro em velocidade do motor (ponto V2 a 1666 RPM, frequência de eixo a 27,8 Hz).



Fonte: do autor (2016).

O espectro da Figura 12 é referente à primeira leitura do ponto 3 H. As amplitudes de vibração são as mais significativas, isto pode ser devido ao excesso de tensão na correia.

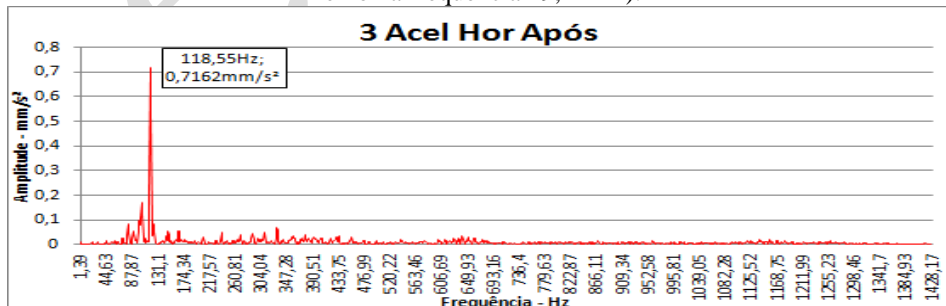
Figura 12 - Espectro de aceleração Horizontal do mancal (ponto 3 a 1320 RPM; eixo na frequência 22 Hz).



Fonte: do autor (2016).

Embora os valores globais sejam elevados, no espectro de vibração há uma distribuição dos picos em uma grande faixa de frequência, que reforçam a suspeita de falha de lubrificação. Pôde-se observar durante o funcionamento do conjunto na prática, um ruído “seco” típico de contato metal com metal, o que é bem característico de falta de lubrificação. Os espectros 1x, 2x, 3x, 4x caracterizam folga excessiva conforme comentado no capítulo 6. A Figura 13 ilustra o espectro do ponto 3H após a revisão, indicando a redução das amplitudes de vibração. O destaque no pico em 118 Hz, espectro característico de desbalanceamento, 1x a RPM.

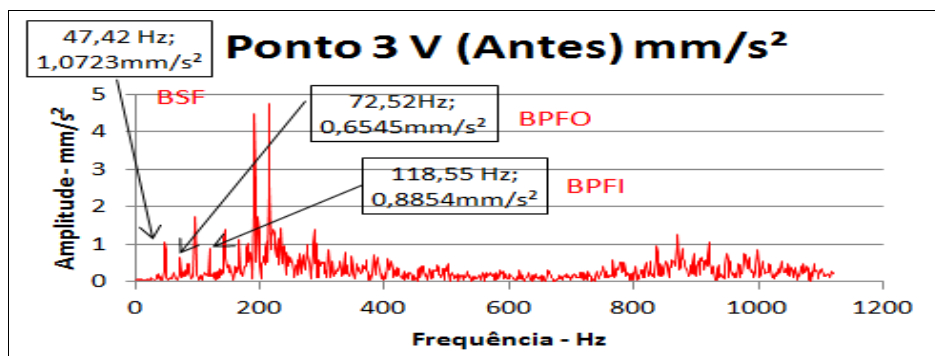
Figura 13 – Espectro em aceleração Horizontal do mancal (ponto 3 a 1166 RPM; eixo na frequência 19,44 Hz).



Fonte: do autor (2016)

Na primeira leitura do ponto 3V, no rolamento 6205, Figura 14 foi identificados as FCDs com picos em 119 Hz, que está relacionado à falha na pista interna (BPFI) próximo desta frequência, 72,52Hz que está relacionado à falha na pista interna (BPFO) e 47,42Hz que indica defeito em esferas (BSF), os demais picos são harmônicos não exatos destas falhas.

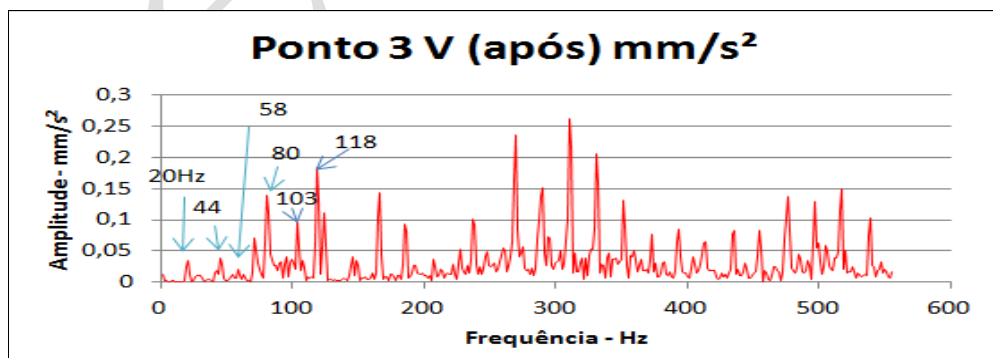
Figura 14 - Espectro de aceleração do mancal (ponto3V a 1320 RPM; 22Hz).



Fonte: do autor (2016).

A Figura 15 ilustra o gráfico do ponto 3V espectro em aceleração após a revisão, indicando a redução das amplitudes de vibração. Espectros indicam picos característicos de folga, onde os harmônicos se propagam em grande faixa de frequência. Não foi identificado nenhuma frequência característica de defeito em rolamento.

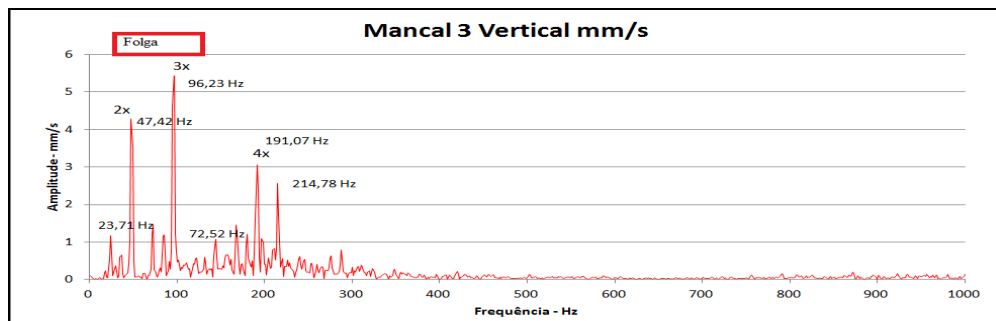
Figura 15 - Espectro de aceleração do mancal (ponto 3V a 1166 RPM; 19,44 Hz).



Fonte: (do autor 2016)

A primeira leitura do ponto 3 na vertical, Figura 16, indica problema de folga entre rolamento e eixo, conforme comentado no capítulo 6, (LAGO, 2007) e (ARCO-VERDE, 2008) apud (GOLDMAN, 1999).

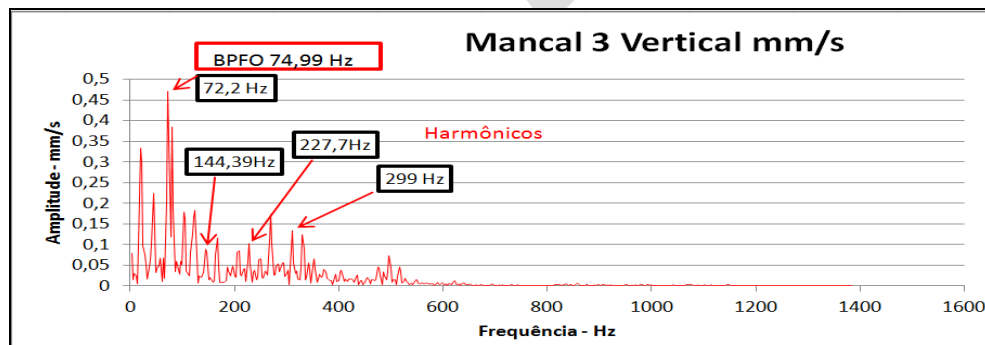
Figura 16 – Espectro em velocidade do mancal (ponto 3V a 1320 RPM; 22 Hz).



Fonte: do autor(2016)

A segunda leitura do mancal no ponto 3 na vertical, Figura 17, indica início de falha na pista externa do rolamento 6205. Foi identificado picos harmônicos em BPFO.

Figura 17 – Espectro em velocidade do mancal (ponto 3V a 1166 RPM; 119,44 Hz).



Fonte: do autor(2016)

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na primeira análise realizada sobre a bancada, diversas falhas na estrutura do equipamento foram constatadas, como a tensão excessiva da

correia, combinado ao desalinhamento e folga entre a polia e o eixo do motor. Conforme norma ISO 2372, foi diagnosticado como falhas acima do permitido (inaceitável) para os rolamentos com maior atenção para os pontos 2V, 3V e 3H.

RMS indicam folgas nos rolamentos dos mancais do eixo de serra causados por falta de lubrificação, destacando os pontos 3H e 4H.

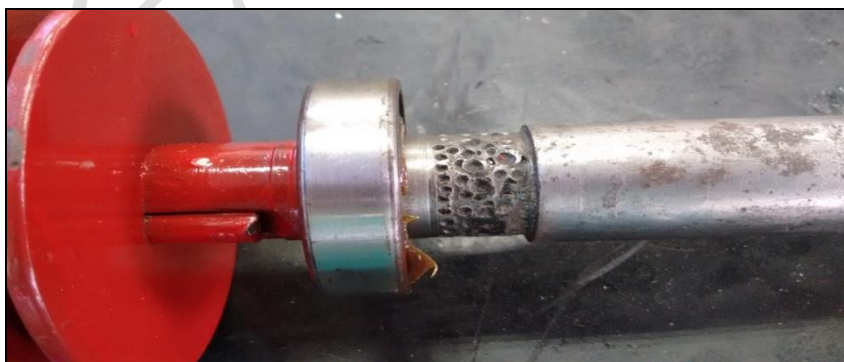
O método de valores globais indica com clareza em baixas frequências (0 Hz ~ 2000 Hz) o estado operacional do equipamento, e o método do domínio da frequência indica as falhas do equipamento e as possíveis falhas nos rolamentos, possibilitando maior precisão de diagnóstico.

O uso de duas técnicas de análises de vibração melhora a confiabilidade dos resultados de detecção de falhas em equipamentos rotativos.

### **1.7 Observações na Desmontagem dos Mancais**

O rolamento do ponto 3V apresenta lubrificação recente, mas o lubrificante não foi determinado se é adequado. O agravante é a evidência de ajuste forçado para fixação do rolamento como demonstra a Figura 18, comprometendo o desbalanceamento e folga entre o eixo e o rolamento do mancal gerando grandes amplitudes de vibração, conforme apresentado anteriormente na Figura 16. O eixo foi substituído para se executar a segunda análise.

Figura 18 - Ajuste forçado para fixação do eixo, ponto 3.



Fonte: do autor (2016).

## CONCLUSÃO

A análise de vibração para determinar o estado de operação de rolamentos é muito importante para as indústrias, principalmente para a Manutenção Preditiva. Portanto as técnicas estudadas neste trabalho ajudarão a realizar medidas corretas dos sinais e níveis de vibrações dos rolamentos para elaborar um plano de manutenção, podendo assim, prever a quebra do equipamento e evitar a conseqüente parada inesperada da produção.

Os resultados em valores globais RMS, conforme a norma ISO 2372, foram satisfatórios para se determinar o grau de severidade das vibrações, os quais indicaram altas amplitudes na primeira análise e após as correções necessárias no equipamento, houve a redução dramática das amplitudes nos pontos analisados.

. Os espectros da técnica de domínio da frequência indicaram as falhas características de desalinhamento, folgas, tensão excessiva da correia, lubrificação inadequada no mancal e falhas nos rolamentos. Após as correções do equipamento para a segunda etapa de análises constatou-se que a manutenção foi efetiva.

Nos rolamentos, as frequências características de defeitos em que surgem os picos em FFT, indicam o defeito conforme a sua descrição, mas são suas harmônicas que determinam a confirmação do defeito. Tomando como exemplo a análise da Figura 16.

Para o rolamento 6205, com os valores calculados das frequências características de defeitos, pode se constatar que tanto em rolamento novo como em rolamento desgastado é possível caracterizar as mesmas falhas, o que diferencia são as amplitudes de vibração, ou seja, se for aplicado uma monitoria periódica em equipamentos rotativos através da análise de vibração é possível acompanhar a evolução das falhas e fornecer informações precisas para gerenciar a manutenção planejada.

### 1.8 Sugestão para Trabalhos Futuros

Analisar o comportamento de outras falhas em equipamentos rotativos como o roçamento, cavitação em bombas, excentricidade do rotor.

Utilizar outras técnicas de análise de vibração como o envelope de aceleração. Avaliação de diferentes sinais obtidos por sensores na coleta de dados. Solucionar o problema de folga da bancada didática no ponto 3 e confirmar em análise de vibração.

# DETECTION OF FAULTS IN BEARING IN ANALYSIS OF VIBRATION ON BENCH TEACHING

## Abstract

This work was carried a comparative study of vibration analysis techniques bearings using the time domain (global value RMS) and the frequency domain on a rotating equipment. Initially they measured and compared the overall RMS values before and after the maintenance. They are then applied mathematical models to meet the frequencies defects characteristics of these bearings and compare with the values found in vibration measurements. In the first analysis results indicate high vibration levels due to equipment failures and defects in the assembly bearing before servicing. After accomplished the necessary corrections, vibration levels decreased satisfactorily, according to ISO standard 2372. This study allowed a good understanding to determine the operational status of rotating equipment and identify the causes of mechanical faults by vibration analysis of bearings.

**Keywords:** Global value. Bearings. Frequencies.

## REFERÊNCIAS

ABNT.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5462, Confiabilidade e manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994.

ALMEIDA, F. R. D. V. **Análises Estatísticas e Reconhecimento de Padrão Aplicados em Diagnósticos de Defeitos em Rolamentos Através da Análise de Vibração.**Doutorado em Engenharia Mecânica. Itajubá: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2007.

ARCO-VERDE, M. M. **Identificação de Falhas em Sistemas Rotativos Empregando Técnicas Não Lineares.** Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, 2008.

ARAUJO, R. D. S. **Desgaste Prematuro e Falhas Recorrentes em Rolamentos de Motores de Indução Alimentados por Inversores: Análise e Proposta de Solução.** Dissertação para Mestre em Engenharia Elétrica, Belo Horizonte, 2011.

ABRAMAN, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. **A Situação da Manutenção no Brasil**. Documento nacional, Salvador, 2013.

CAMPOS, D. C. M. D. P. **Implementação de Técnicas e Ferramentas para Manutenção Preditiva na Colep**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

EASA. ELECTRICAL APPARATUS SERVICE ASSOCIATION, **The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency**. St. Louis, 2003.

EDWARDS, S.; LEES, A. W.; FRISWELL, M. I. Fault diagnosis of rotating machinery. **Shock and Vibration Digest**, Swansea, v. 30, n. 1, p. 4-13, 1998.

FUJIMOTO, R. Y. **Diagnóstico Automático de Defeitos em Rolamentos Baseado em Lógica Fuzzy**. Dissertação para Mestre em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

GOLDMAN, S. **Vibration Spectrum Analysis: A practical Approach**. 2. ed. New York: Industrial Press, 1999.

ISO, O. I. D. N. **ISO2372. vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 10 a 200 rev / s - Base para especificar normas de avaliação**. 1995, ISO 10816-1. ed. Genebra: [s.n.], 1974.

JUNIOR, A. A. **Manutenção preditiva usando análise de vibrações**. 1. ed. Barueri: Manole, 2004.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção - Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualimark Editora, v. 4, 2013, p. 276-301.

LAGO, D. F. **Manutenção de Redutores de Velocidade Pela Integração das Técnicas Preditivas de Análise de Vibrações e Análise de Óleo Lubrificante**. Mestrado Em Engenharia Mecânica. Ilha Solteira: UNESP, 2007.

LEBOLD, M. et al. **Review of vibration analysis methods for gearbox diagnostics and prognostics**, Proceedings of the 54th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology,. Virginia Beach: [s.n.]. 2000. p. 623-634.

MARÇAL, R. F. M. **Detectando falhas incipientes em máquinas rotativas**. Revista Gestão Industrial, v. 1, n. 21, p. 87-96, 2005.

MARTINS, C. P. **Análise de Defeitos em Motores Através de Vibração Mecânica – Estudo de Caso**. Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2012.

MENNA, A. R. **Detecção de falhas em mancais de rolamento**. Dissertação para Mestre em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MESQUITA, A. L. A. et al. **Detecção de falhas em rolamentos usando transformadas tempo-frequência – comparação com análise de envelope**. Mecânica Computacional Vol. XXL, Campinas, 2002, p. 1938-1954.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Blucher Ltda., v. 1, 1989.

NSK, B. D. **Diagnóstico Rápido de Ocorrências em Rolamentos**. São Paulo: [s.n.], 2001.

OLIVEIRA, R. G. D. **Implementação de Técnicas de Processamento de Sinais para o Monitoramento da Condição de Mancais de Rolamento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2005. 88.

PRADO JR., HUDSON L. D. **Identificação de Falhas em Engrenagens na Transmissão de Trator Agrícola por Meio de Análise de Vibração**. Trabalho de Conclusão de Curso para Mestre em Engenharia Automotiva, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

XAVIER, J. N. **Manutenção preditiva - Caminho para a excelência**. Nova Manutenção y Qualidade, São Luiz, 2004.

YA'CUBSOHN, R. V. E. **Diagnóstico de fallas por análisis vibratório**. Die Techik Ltda., São Paulo, 1983.

MGSTecnologia. **Balanceamento de equipamentos girantes em campo**, disponível em :<http://www.mgstecnologia.com.br/noticias/admin/arquivos/modelo%20relatorio%20balanceamento.pdf>. Acesso em 18 de 10 de 2015

TEKNIKAO, **Acelerômetro de aço inox NK 20**. disponível em: <http://www.teknikao.com.br/teknikao-blog/artigo/tecnico/acelerometros>. Acesso em 18 de 10 de 2015.

WELLCON, **Monitoramento e análise de vibrações sav via zigbee**. Disponível em: <https://drillingclub.wordpress.com/2013/03/10/monitoramento-e-analise-de-vibracoes-sav-via-zigbee/>. Acesso em 18 de 10 de 2015.

MARINHO, R. **Telecurso 2000; Análise de Vibração**. São Paulo: Globo, 1995.

# CONTROLE AUTOMÁTICO DE NÍVEL DE ÀGUA EM CALDEIRA PARA ADEQUAÇÃO À NR 13

MICHAEL RODRIGO TARDIN<sup>1</sup>

JOÃO PAULO VENDRAME<sup>2</sup>

APARECIDO SERAPIAO DOS SANTOS<sup>3</sup>

SAULO AGUIAR SAES<sup>4</sup>

## RESUMO

O artigo apresenta o desenvolvimento de um controle automático de nível d'água empregado na adequação de uma caldeira a norma NR 13. A caldeira objeto deste estudo está em operação em um alambique no distrito da Warta na cidade de Londrina Pr. Este controle de nível trouxe confiabilidade e segurança na operação da caldeira e refletindo na facilidade de sua operação.

**Palavras-chave:** Segurança; Controle de Nível; Caldeira.

---

<sup>1</sup> Discente; Curso de Manutenção Industrial; Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina; [miceletrica@gmail.com](mailto:miceletrica@gmail.com)

<sup>2</sup> Docente; Especialista em Segurança do Trabalho; Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina;

e-mail: joao.vendrume@pr.senai.br

<sup>3</sup> Docente; Especialista em Engenharia de Automação; Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina;

e-mail: aparecido.serapiao@pr.senai.br

<sup>4</sup> Docente; Especialista em Gestão Industrial com Ênfase em Sistema da Produção; Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina;

e-mail: saulo.saes@fiepr.org.br

# 1 INTRODUÇÃO

Caldeiras ou geradores de vapor segundo a NR-13 são equipamentos destinados à produção de vapor sob pressão superior à atmosférica utilizando qualquer fonte de energia. Os riscos de explosão ao gerador de vapor estão associados na manutenção e operação do equipamento. A norma NR-13 (BRASIL, 2014) trata da segurança necessária para seu funcionamento, da periodicidade anual ou bianual de inspeção, dependendo da categoria em que a caldeira se enquadra.

De acordo com o item 13.4.1.3 da norma NR-13 (BRASIL, 2014) as caldeiras devem conter os seguintes itens:

a) Válvula de segurança de abertura para alívio da pressão interna ajustada em valor igual ou inferior a pressão nominal da caldeira;

b) Dispositivo que indique a pressão do vapor acumulado no interior da caldeira;

c) Sistema de alimentação ou injetor de água, um sistema que seja independente do principal que em caso de falha do sistema principal evite o superaquecimento acima das temperaturas de projeto;

d) Sistema dedicado de drenagem rápida de água em caldeiras de recuperação de álcalis, com ações automáticas após acionamento pelo operador;

e) Sistema automático de controle do nível de água com intertravamento que evite o superaquecimento por alimentação deficiente.

Além disso, a norma estabelece a necessidade de um engenheiro responsável para liberação técnica de seu funcionamento quanto à segurança.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um controle automático de nível de água a ser empregado a uma caldeira do marca DEDINI; modelo Flamutubular também conhecida por barriga d'água; produção de vapor: 5.000Kg/h; Categoria B; Ano de fabricação: 1983; operando em um alambique no distrito da Warta na cidade de Londrina, a mesma controlada por dois operadores, sendo um para controlar a queima de combustível sólido em sua fornalha e um segundo operador monitorando visualmente a garrafa de nível que indica volume de água dentro da caldeira. Conforme o nível de água diminui ou aumenta, o operador é obrigado a abrir ou fechar, respectivamente, válvula injetora que insere água na caldeira, buscando manter o nível ideal no interior da mesma. Vale ressaltar que antes da realização da adequação não havia nenhum tipo de alarme visual ou sonoro de nível para o operador e desta forma o funcionamento da caldeira não está em conformidade com os critérios da NR 13.

Para regulamentar a operação da caldeira conforme a norma NR 13 propõe neste trabalho a instalação de sistema de controle de nível d'água com alarmes de nível crítico alto e baixo. O nível de água é controlado por sensores que por sua vez acionam uma moto

bomba, responsável em injetar água no interior da caldeira conforme a indicação do nível de água enviada pelos eletrodos de nível para o relé de nível.

Para atender a norma não é necessário à substituição do equipamento, mas sim uma adequação as normas vigentes.

Com o desenvolvimento e a instalações deste controlador de nível buscou-se atender a norma NR 13 dando confiabilidade e segurança na operação da caldeira.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Este trabalho está focado primeiramente à segurança dos trabalhadores na empresa de modo a adequar a caldeira em operação à norma NR-13 item 13.4.1.3 no que se refere ao controle de nível de água e com isso melhorar parte da planta do engenho, gerando maior confiabilidade e segurança do sistema com reflexo de economia na mão de obra.

### **2.1 Caldeira**

Segundo a revista Proteção (2001), estatísticas americanas mostram que acidentes no Brasil estão acontecendo, mas não estão sendo registrados. Assim, a revista trás dados do site de Inspetores Americanos de Caldeiras e Vasos de Pressão, conforme Quadro-1,

onde mostra as principais causas de acidentes envolvendo caldeiras nos EUA, e dois desses itens são que grande importância neste trabalho, primeiro item com mais acidentes é o baixo nível d'água e o segundo com mais acidentes é a falha do operador, com a alteração realizada na operação da caldeira estes riscos são diretamente tratados, pois o controle do nível de água é automático e com alarme para níveis críticos.

**Quadro 1- Acidentes com caldeira nos Estados Unidos**

Estatística de acidentes	Caldeiras de Força - USA								
	Acidentes			Ferimentos			Mortes		
Parâmetros	1997	1998	1999	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Rachadura na tubulação	52	00	00	00	00	00	00	00	00
Válvulas de Segurança	00	02	01	00	02	01	00	00	00
Baixo nível d'água	220	128	67	00	00	02	00	00	01
Falha nos limites de controle	08	07	27	00	00	08	00	00	00
Instalação inadequada	05	05	14	00	01	01	00	00	00
Reparo inadequado	03	09	24	00	01	01	00	00	00
Falha no projeto de Fabricação	16	05	22	06	00	01	00	00	00
Erro do operador	94	84	140	15	03	03	02	00	00
Falha no queimador	53	32	27	03	02	20	02	00	07
Subtotal	451	272	322	24	08	36	04	00	08

Fonte: adaptado de Proteção (2001).

Dentre os processos industriais, a geração de vapor através de sistemas de caldeiras é um dos mais arriscados, onde os riscos de explosões, vazamentos e acidentes são muito elevados necessitando de uma série de dispositivos e ações para o controle de segurança.

A Figura 1 mostra a caldeira objeto de estudo deste trabalho.

Figura 1 - Caldeira



Fonte: Do Autor (2015).

O vapor produzido pelas caldeiras é usado geralmente na indústria para movimentar máquinas térmicas ou como fonte de calor para processos. Deste modo, as caldeiras são equipamentos capazes de transferir a energia armazenada nas fontes combustíveis para a água e, então, para a aplicação final.

Na Figura 2 pode ser observado o motor a vapor utilizado no alambique.

Figura 2 - Motor a vapor



Fonte: Autor (2015).

Para Alves (2002), todos os tipos de caldeira possuem três partes essenciais, que são: a fornalha ou câmara de combustão, a câmara de água e a câmara de vapor. Os acessórios para descarga dos gases e a chaminé não formam parte integral da caldeira, pois constituem construções independentes que são adicionadas ao corpo resistente da mesma, não estando expostas à pressão do vapor.

Segundo a NR 13 (BRASIL, 2014), caldeiras são classificadas pelas classes de pressão como:

- **Categoria A:** Pressão de operação é superior a 1960 KPa (19,98 kgf/cm<sup>2</sup>);

- **Categoria C:** Pressão de operação igual ou inferior a 588 KPa (5,99 kgf/cm<sup>2</sup>) e volume interno igual ou inferior a 100L;
- **Categoria B:** caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

## 2.2 Dispositivos de segurança

Segundo a norma NR 13 (BRASIL, 2014), os dispositivos de segurança das caldeiras têm por finalidade proteger o pessoal e os equipamentos de possíveis falhas em seu funcionamento. Os principais são:

- Válvula de segurança de pressão tem por finalidade abertura para alívio da pressão ajustada em valor igual ou inferior a pressão máxima de trabalho admissível, ilustrada na Figura 3.

Figura 3 - Válvula de segurança de pressão



Fonte: Do autor (2015).

- Manômetro: instrumento para medir e indicar a intensidade de pressão do vapor, ar comprimido e fluido em geral (TECNIAR, 2016), ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - Manômetro Caldeira



Fonte: Do Autor (2015)

- Injetor ou outro meio de alimentação de água, independente do sistema principal, em caldeiras a combustível sólido, ilustrada na Figura 5.

Figura 5 - Injetor a vapor



Fonte: Do Autor (2015).

Sistema de indicação para controle do nível de água, conforme ilustrada na Figura 6.

Figura 6 - Garrafa de Nível da Caldeira



Fonte: Do Autor (2015).

### **3 Materiais e Métodos.**

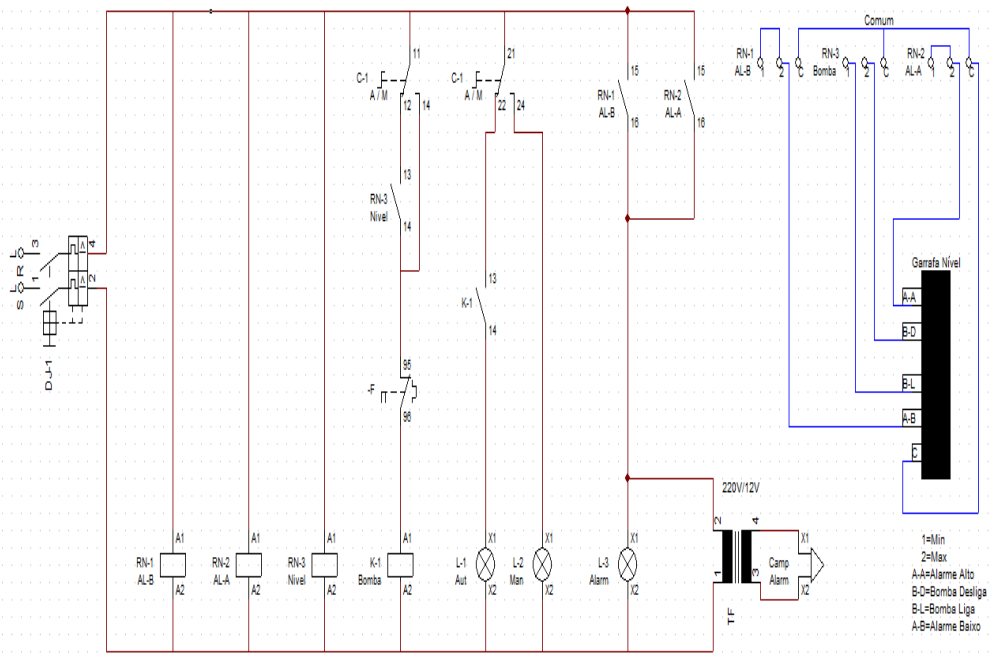
A metodologia adotada para o desenvolvimento deste projeto foi a de estudo de caso realizado em um alambique localizado no distrito da Warta, cidade de Londrina. Aliado a uma revisão de literatura em livros, manuais e normas regulamentadoras, buscou-se obter informação suficiente para a elaboração e execução do projeto de um sistema de controle automático de nível de água capaz de

proporcionar segurança e confiabilidade na operação da caldeira estudada.

Com este levantamento bibliográfico e de campo foi constatada a necessidade da instalação de um circuito elétrico para o acionamento de alarmes e o funcionamento do conjunto moto bomba com relação ao nível de água.

O circuito elétrico desenvolvido é mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Comando elétrico



Fonte: Do Autor (2016).

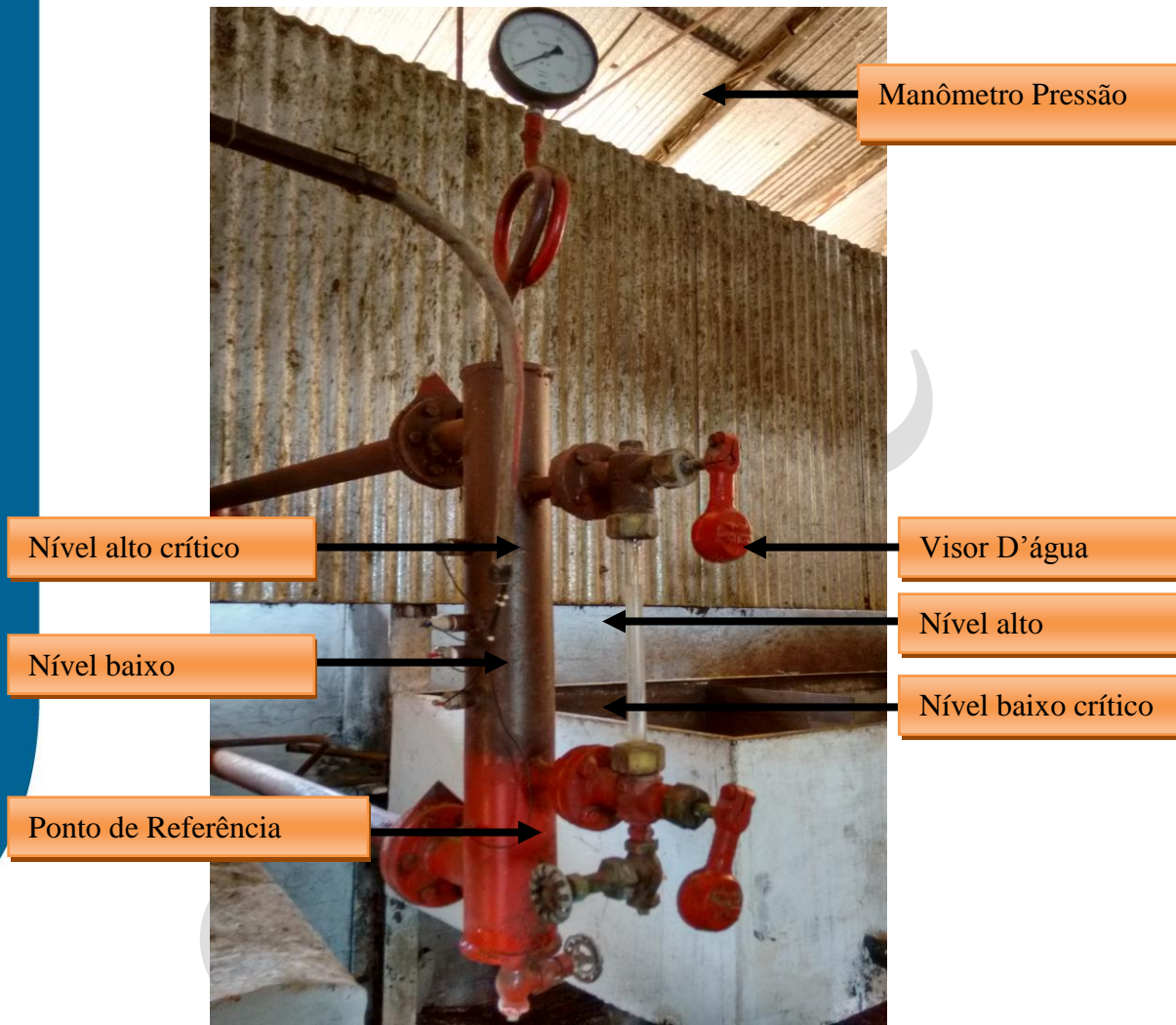
O sistema é composto por uma chave seletora de três modos C1: manual, automático e desligado, com sinalização do acionamento da moto bomba.

Com a lógica de comando para o acionamento da moto bomba obtém-se um controle automático do nível de água da caldeira. Isto é realizado através de um relé de nível com um ponto de referência e dois eletrodos instalados em sua garrafa de nível.

Em caso de falha tem-se ainda uma sinalização sonora e visual, apontando um possível nível crítico alto que poderia ocorrer o arraste d'água, ou nível crítico baixo, no qual ocorre a falta de água podendo provocar explosões. Com isso foram instalados dois relés de nível, sendo um para nível crítico baixo e outro para nível crítico alto.

Conforme apresentado na Figura 8, um eletrodo para nível crítico baixo abaixo, do nível do eletrodo de controle do conjunto moto bomba e outro eletrodo de nível crítico alto acima do eletrodo de controle do conjunto moto bomba.

Figura 8 - Garrafa de Nível da Caldeira com eletrodos

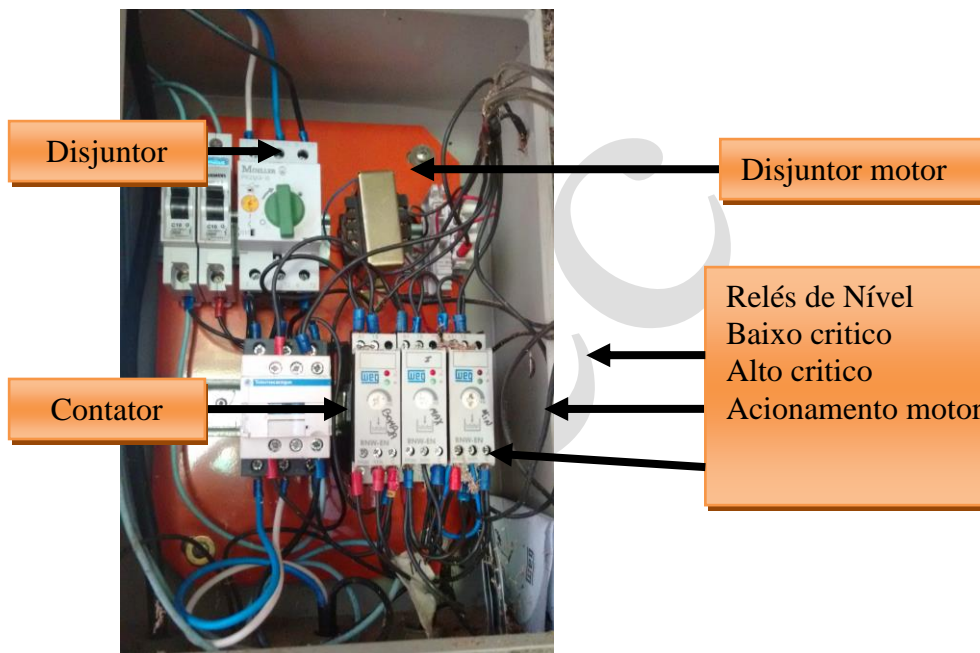


Fonte: Do Autor (2016).

Para proteção elétrica foram instalados disjuntores no circuito de comando elétrico, disjuntor motor para proteção dos cabos elétrico, motor elétrico trifásico e contator para acionamento do motor

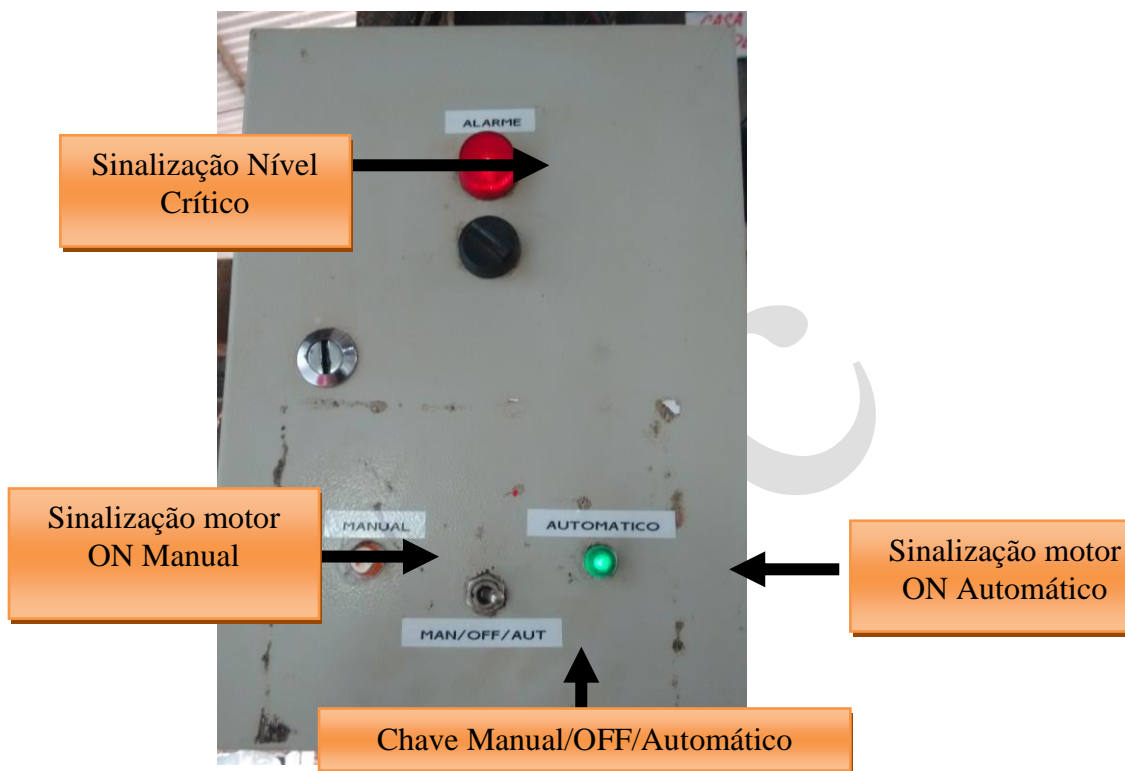
elétrico através dos relés de nível. O painel elétrico é mostrado na Figura 9 e 10.

Figura 9 – Interior painel de comando



Fonte: Do Autor (2016).

Figura 10 – Vista frontal painel de comando



Fonte: Do Autor (2016).

### 3.1 Relés de nível

São dispositivos utilizados para controle de água e líquidos condutores de corrente elétrica em reservatório, podendo estar pressurizados. São uteis para detecção de um nível fixo (TOMAZINI, 2007).

### **3.2 Eletrodos de nível**

São feitos com matérias metais condutivos que não oxidam como inox havendo um material isolante como polipropileno onde é conectado no equipamento para não entrar em contato com a massa do equipamento.

### **3.3 Contator**

São dispositivos que modificam uma variável controlada, recebem sinal de sensores ou botões de acionamento, pois geralmente controlam potencias elevadas (WEG, 2016).

### **3.4 Disjuntor motor**

Dispositivo que tem por finalidade proteção do circuito elétrico, partida e proteção do motor, ajuste para sobre corrente, sensível à falta de fase seu disparo interrupção é por dispositivo magnético ou térmico (WEG, 2016).

### **3.5 Disjuntor termomagnético**

Dispositivo responsável por monitorar a corrente elétrica, interrompendo a energia elétrica quando a houver um pico de corrente e essa ultrapassar o valor adequado (WEG, 2016).

## **4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1 Apresentação do sistema anterior**

A caldeira era operada por dois funcionários, um operador cuidava da alimentação, isto é, controla a entrada de bagaço para queima a fim de manter a temperatura da caldeira. Outro operador controlava visualmente o nível de água no interior da caldeira, através da garrafa de nível, mostrado na Figura 6.

Pelo fato de não ter nenhum tipo de alarme ou dispositivo que acione informando-o sobre nível de água, o procedimento anterior era o operador primeiramente visualizar o nível de água na garrafa e então analisar se o nível está baixo ou alto, para então abrir ou fechar válvula injetora de água, mostrada na Figura 5. Vale enfatizar que para manter um nível adequado no interior da caldeira o sistema continha somente esta forma de injeção de água.

### **4.2 Apresentação do sistema instalado após a pesquisa**

No sistema atual foi instalado um painel com controle automático e manual do nível de água da caldeira o que permitiu liberar o operador para outras atividades, apesar de continuar com a responsabilidade de verificar o nível. Isso só é possível devido aos alarmes que agora existem e são acionados quando se atinge os níveis críticos (baixo e elevado).

Após implantação do sistema de controle de água para atender a norma NR13, a caldeira passou a ser operada apenas por um trabalhador que realiza toda a supervisão e alimentação de bagaço para manter a temperatura necessária para o processo, sendo que o nível de água é controlado automaticamente pelo sistema instalado que detecta o nível no interior da caldeira e se o nível estiver baixo aciona a moto bomba para injetar água e quando atingir o seu nível alto o sistema desliga a moto bomba.

Caso este sistema falhar ainda há o sistema de alarme que sinaliza nível crítico baixo e nível crítico alto, acionando uma lâmpada para sinalização visual e também uma sirene para sinalização sonora, possibilitando um maior tempo para o operador verificar o nível na garrafa e injetar água através da válvula injetora, manualmente se necessário; ou desligamento da moto bomba no caso de nível crítico alto. Tanto a garrafa de nível como o visor de nível e a válvula injetora foi mantida, pois se tem agora um sistema principal para injetar água através da moto bomba.

Foi acrescentada ainda a opção de controle manual, pois em período de entre safra a caldeira é mantida cheia o que seria considerado nível crítico alto. Assim, com esta opção pode-se completar totalmente com água o interior da caldeira, a fim de evitar a ferrugem no seu interior e testar também sua estanqueidade.

### **4.3 Discussão dos resultados**

Obteve-se sucesso com o sistema funcionando já há um ano, por seus operadores e principalmente pelos proprietários da mesma. Foi realizados testes após instalação do sistema com simulação da caldeira em funcionamento sem geração de vapor, assim podendo verificar acionamento dos alarmes de nível críticos e controle automático do nível de água, com testes realizados na caldeira e com resultados obtidos atendendo a norma NR 13 foi colocado em operação a caldeira. Estas alterações refletiu em uma maior confiabilidade na operação da caldeira, maior segurança as pessoas e a planta do alambique com reflexo no custo que obteve uma redução em sua operação reduzindo de dois operadores para um operador.

## **5 CONCLUSÃO**

Portanto, diante dos dados levantados neste trabalho, mostrou-se que há um grande contingente de vítimas de acidentes nos EUA e também no Brasil porem não temos um estudo no Brasil para informar quais as falhas que ocorrem, só informam acidentes em caldeiras não registram o que ocasionou o acidente, mas assim como a revista Proteção ressalta que podemos nos direcionar pelo estudo realizado nos EUA.

Estes acidentes possuem um elevado ônus para toda a sociedade, sendo desejo do governo, empresários e trabalhadores a sua minimização.

Muitos dos índices relativos a mortes, dilacerações e incapacitações permanentes estão associados aos vasos de pressão, pois são equipamentos de altíssimo risco, sendo fatais em qualquer inconformidade de gerenciamento.

Neste sentido, este trabalho executou a readequação de uma caldeira para atender a norma NR13 possibilitando maior segurança aos funcionários, maior confiabilidade no controle do processo, facilidade na operação da caldeira com reflexo na redução de custos.

Os resultados foram positivos, pois atenderam a norma NR 13 nos itens mencionados no trabalho, tendo em vista as diversas necessidades observadas.

Para trabalhos futuros, uma melhoria no sistema seria a instalação de um sensor de nível e um inversor de frequência para controlar a moto bomba. Resultando em um auxílio de controle no funcionamento e uma maior estabilidade na temperatura da água no interior da caldeira, pois não seria injetada água de uma vez como acontece com o sistema liga desliga, ocasionando o resfriamento e perda na pressão da caldeira mesmo que seja pouco, mas reflete na produção, com um controle constante de inserção de água teríamos uma quantidade menor assim possibilitando uma menor variação em sua temperatura e pressão.

# **AUTOMATIC CONTROL WATER LEVEL IN BOILER FOR ADEQUACY FOR NR 13.**

## **Abstract**

The paper presents the development of an automatic control of water level used in the suitability of a boiler NR 13 standard, the boiler object of this study is operating in an alembic in Warta district in the city of Londrina Pr. To develop the level of control were used, level relays, level sensors, warning lights, siren, contactor and engine breaker. This level of control has brought reliability and security in the boiler operation, reflecting the cost reduction with its operation.

**Keywords:** Safety; Level Control ; Boiler.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÕES. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. Disponível em: <<http://www.mtps.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-13-caldeiras-vasos-de-pres-sao-e-tubulacoes>> Acesso em: 20 Abril. 2016.

PROTEÇÃO Revista mensal de saúde e segurança do trabalho. Novo Hamburgo: Proteção, n. 112, abril. 2001.

WEG: Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Partida-e-Protecao-de-Motores>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

TECNIAR. Disponível em: <<http://www.tecniar.com.br/mamometro/manometro-informacoes-uteis/>>. Acesso em: 26 mar. 2016.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. 3. ed. São Paulo: Érica, 2007.

# ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

SAYMON RODRIGUES FERNANDES <sup>1</sup>

ANTONIO CARLOS <sup>2</sup>

APARECIDO SERAPIÃO DOS SANTOS <sup>3</sup>

SAULO AGUIAR SAES <sup>4</sup>

## Resumo

As organizações atuais buscam constantemente ferramentas de gerenciamento, onde proporcione competitividade através da qualidade e produtividade de seus produtos. Para se tornarem competitivas dentro do mercado empresarial, as empresas necessitam que todos os departamentos de sua estrutura resultem em melhores resultados na busca pela excelência operacional. A manutenção com sua função estratégica encarregam-se diretamente pela disponibilidade dos ativos de produção, sendo de importância extrema nos resultados das empresas. Este trabalho objetiva mostrar as práticas da engenharia de manutenção e a manutenção preditiva e os benefícios que elas trazem para o setor e para os lucros das empresas. As importantes estratégias dentro dessa pesquisa torna a gestão de manutenção nas empresas mais competitiva e eficiente através da gestão dos ativos e da manutenção preditiva dos equipamentos, contribuindo assim para alcançar metas propostas pelas empresas dentro de seu plano estratégico. Foram realizados levantamentos bibliográficos referenciados onde se descreve de modo abrangente informações técnicas, critérios e práticas para uma gestão

---

<sup>1</sup> Tecnólogo em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: srf.senai@gmail.com

<sup>2</sup> Especialista em Engenharia de Manutenção Industrial, Senai Santa Catarina. E-mail: antonio.rodriques@pr.senai.br

<sup>3</sup> Especialista em Engenharia de Automação, Senai Santa Catarina. E-mail: aparecido.serapiao@pr.senai.br

<sup>4</sup> Especialista em Gestão Industrial com Ênfase em Sistema da Produção, UTFPR - CP. E-mail: Saulo.saes@fiepr.org.br

com foco na busca da excelência empresarial. Com resultado apresentado por uma pesquisa realizada pela Plant Performance Group, grupo australiano especializado em consultoria de desempenho das plantas que através de 500 indústrias nos Estados Unidos, Canadá, Grã-Bretanha, França, e Austrália nos serviços de geração de energia elétrica, papel e celulose, processamento alimentício, têxteis, ferro e aço, alumínio, e outras indústrias de manufatura ou de processo onde expõe percentualmente os benefícios que se tem ao utilizar técnicas de manutenção preditiva como filosofia de manutenção. A partir do resultado do estudo concluiu-se que fábricas que implantaram métodos de manutenção preditiva indicaram melhorias substanciais na contabilidade, disponibilidade, e custos operacionais.

**Palavras-chave:** Estratégias, Gestão, Manutenção.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Brito (2003), “a globalização da economia mundial leva a um constante aumento na competitividade organizacional”. Desta forma Pereira (2010) descreve que as “empresas encontram-se imersas em um ambiente de negócios cada vez mais competitivos, onde buscam através de estudos reduzir custos, tornando-se cada vez mais excelentes”. Para isso, a gestão das empresas deve ser sustentada por uma visão de futuro e os processos gerenciais devem focar na satisfação plena dos clientes, através da qualidade essencial de seus produtos e serviços, tendo como sustentação a qualidade total dos processos produtivos (KARDEC, 2009). Kardec (2003) descreve que as “organizações vêm buscando incessantemente novas ferramentas de gerenciamento, que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços”.

Com isso uma empresa se torna lucrativa e a manutenção consequentemente ajuda a reduzir as despesas e aumentar o tempo de funcionamento das máquinas, pois assim parte a fonte do lucro, por outro lado às quebras como consequência reproduzem desperdício de matéria-prima, fontes de energia e mão de obra, e em decorrência, prejuízo na lucratividade (FILHO, 2010).

Uma falha inesperada de uma máquina além de comprometer a produção, causar acidentes de trabalho, impactar o meio ambiente e gerar a insatisfação do cliente final com a qualidade e prazo de entrega do produto compromete diretamente a rentabilidade econômica das empresas. Dentro desse contexto a manutenção em uma empresa precisa deixar de ser somente eficiente e se tornar eficaz, não se conformando apenas em reparar os equipamentos ou instalações o mais rápido possível, mas manter o equipamento a disposição para operação limitando a possibilidade de parada (KARDEC, 2009).

Para Dias (2007) “as empresas estão descobrindo a importância de um plano estruturado de manutenção dos equipamentos por meio da aplicação dos conceitos de confiabilidade, apesar de ainda existirem empresas experimentando soluções paliativas”.

Neste contexto, este trabalho objetiva mostrar práticas da engenharia de manutenção e a manutenção preditiva, e como a utilização traz benefícios positivos para o setor, através das estratégias de gerenciamento apresentadas a manutenção possa contribuir significativamente para a empresa, com finalidade de redução de custos, confiabilidade e disponibilidade de máquinas, qualidade final dos produtos, satisfação do cliente interno e externo, aumento da autoestima dos colaboradores envolvidos e foco em

metas que garantam a competitividade e sobrevivência da empresa no mercado.

## **2 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO**

### **2.1 História**

A manutenção, embora despercebida, sempre existiu, mesmo nas épocas mais remotas. Começou a ser conhecida com o nome de manutenção por volta do século XVI na Europa central, juntamente com o surgimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Tomou corpo ao longo da Revolução Industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na Segunda Guerra Mundial. No princípio da reconstrução pós-guerra, Inglaterra, Alemanha, Itália e principalmente o Japão alicerçaram seu desempenho industrial nas bases da engenharia de manutenção (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2000).

### **2.2 Evolução Histórica da Manutenção**

De acordo com KARDEC (2012, 3-5 p.) a partir de 1930, a evolução da manutenção pode ser dividida em cinco gerações:

a) Primeira Geração: Engloba a época anterior a segunda guerra mundial, onde a indústria era limitadamente mecanizada, os equipamentos eram na sua maioria simples e superdimensionados. O ponto de vista em relação às falhas dos equipamentos era de que “todos os equipamentos se

desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrerem falhas ou quebras”. A capacidade buscada era basicamente a habilidade de o executante concluir o reparo necessário.

b) Segunda Geração: Aconteceu entre a década de 50 e 70. As pressões do período da guerra ampliaram a procura por natureza de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão de obra industrial reduziu sensivelmente no mesmo período houve um forte aumento na mecanização. Começa a obrigação de maior disponibilidade, na busca da maior produtividade, a indústria encontrava-se muito dependente do bom funcionamento das máquinas. Isto levou a ideia de que os danos por falhas das máquinas poderiam e deveriam ser evitadas, Assim sucedeu o pensamento da manutenção preventiva.

Na década de 60, a manutenção preventiva resumia-se em intervenções nos equipamentos realizadas a intervalos fixos onde elevou a despesa da manutenção comparada a outras despesas operacionais. Através desse evento fez complementar os sistemas de planejamento e controle de manutenção.

c) Terceira Geração: A partir da década de 70 aceleraram-se as técnicas de transformação nas indústrias. A interrupção na produção, que diminuía o volume produzido aumentava os custos e afetava a qualidade dos produtos, era um temor geral. Na manufatura, o impacto dos períodos da paralização foi piorando pela tendência mundial de consumir os sistemas just-in-time, onde estoques eram limitados para a produção em andamento, significavam que pequenas paradas na produção e entrega numa fase poderiam parar a fábrica.

d) Quarta Geração: A disponibilidade é uma das medidas de desempenho mais importantes para a manutenção nesta geração, se não a mais importante. A confiabilidade dos equipamentos é um fator de frequente procura pela manutenção. O fortalecimento das atividades de engenharia da manutenção, dentro da estrutura organizacional da manutenção, tem na garantia da disponibilidade, da confiabilidade e da manutenibilidade as três maiores justificativas de sua existência.

Uma das grandes mudanças nas práticas da manutenção é o aprimoramento da contratação ou da terceirização buscando contratos de longo prazo, em uma relação de parceria, com indicadores que medem os resultados que interessam ao negócio como a disponibilidade e confiabilidade.

e) Quinta geração: As práticas adotadas na Quarta Geração são mantidas, mas com enfoque nos resultados empresariais, razão principal para obtenção da competitividade, necessária a sobrevivência da empresa, é obtido através do esforço conjunto em todas as áreas coordenadas pela sistemática da gestão de ativos.

Os ativos devem produzir na sua capacidade máxima, sem falhas não previstas, de modo que seja obtido o melhor retorno sobre os ativos (ROA – Return on assets) ou Retorno sobre o Investimento (ROI – Return on Investment).

### **3 TIPOS DE MANUTENÇÃO**

Os tipos de manutenção expressam a forma pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações (KARDEC, 2001).

As manutenções dividem-se quanto à organização e quanto à classificação. Já a classificação inclui seis práticas, tipos ou estratégias de manutenção que englobam desde a restauração emergencial até a melhoria (KARDEC, 2012).

### **3.1 Manutenção Corretiva**

Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane ou de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida como intitulada através da norma Confiabilidade e Manutenibilidade – NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

#### **3.1.1 Manutenção corretiva não planejada**

O conserto da falha ou da execução inferior ao desejado é realizada sempre depois da ocorrência da falha, sem assistência ou planejamento preliminar. Resulta em altos custos e baixa confiança na produção, gerando avarias grandes as máquinas em muitas ocasiões irreversíveis (OTANI, 2008).

#### **3.1.2 Manutenção corretiva planejada**

Em muitas ocasiões a manutenção é instruída. Acontece pela ordem gerencial de trabalhar até a quebra ou em função de uma companhia preditiva (OTANI, 2008).

### **3.2 Manutenção Preventiva**

Propõe eliminar ou diminuir as probabilidades de quebra por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em espaços de tempo Pré-planejados (SLACK, 2002). As generalizações são as principais responsáveis pelos dois problemas mais comuns ao se adotar à manutenção preventiva: reparos dispensáveis ou muito antecipados e falhas impensadas (ALMEIDA, 2008).

### **3.3 Manutenção Preditiva**

A manutenção que executa acompanhamentos de variáveis e escalas de funcionamento de máquinas e equipamentos, onde através de análises é realizado o monitoramento das condições dos equipamentos definindo assim o momento certo para a intervenção com o máximo proveito do ativo (OTANI, 2008). Tem como objetivo prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de diversos parâmetros, permitindo a operação continua do equipamento pelo maior tempo possível podendo assim Pré dizer as condições do equipamento. A manutenção privilegiasse pela disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos e sistemas, e pelo fato das verificações serem efetuadas com os equipamentos em funcionamento (KARDEC, 1998).

Os programas de gestão da manutenção preditiva utilizam uma combinação de ferramentas, como análise de vibrações, análise Termográfica, análise do óleo, análise por ultrassom com objetivo de identificar o estado atual do equipamento (SMITH, 2007).

### **3.4 Manutenção Detectiva**

A condição manutenção detectiva vem de “detectar” e iniciou-se a partir da década de 90. O propósito é progredir a confiabilidade nos equipamentos, caracterizam-se pela mediação em sistemas de assistência para expôr falhas ocultas e não perceptíveis aos operadores (SOUZA, 2008).

### **3.5 Engenharia de Manutenção**

A Engenharia de Manutenção significa “perseguir benchmarks”, aplicar técnicas modernas niveladas com a manutenção do Primeiro Mundo. Visa entre outros fatores ampliar a confiabilidade, disponibilidade, segurança e manutenibilidade; eliminando problemas crônicos e resolver problemas tecnológicos; aprimorar a gestão de pessoal, materiais e sobressalências; envolver-se em novos projetos e dar suporte à execução; executar análise de falhas e estudos; construir planos de manutenção, fazer análise crítica e conduzir indicadores, cuidando sempre da documentação técnica (KARDEC, 2009).

## **4 ESTRATÉGIAS NA GESTÃO DE MANUTENÇÃO**

Segundo Kardec (2012) “o gerenciamento pelas diretrizes é realizado pelo sistema de gestão que se baseia no estabelecimento de um plano estratégico que prevê ações de curto, médio e longo prazo, promovendo verificar a visão e direcionar os rumos de uma organização para o sucesso do negócio”.

A manutenção, para ser relacionada como função estratégica, deve ter por meta o alcance dos resultados empresariais, e isso é obtido através da eficácia nas intervenções que devem estar focadas para manter a função dos equipamentos disponíveis para a produção (KARDEC, 2006). O custo da indisponibilidade aplica-se na consequentemente na perda de produção e não qualidade dos produtos acarretando possíveis conseqüências sobre a imagem da empresa (MIRSHAWA, 1993).

Para obter o sucesso desejado com o negócio, a manutenção é significativa, pois tem a capacidade de intervir na produtividade através da disponibilidade dos ativos, interferir nos lucros, pois influencia os custos, interferir na segurança interna e do meio ambiente e interferir na qualidade constatada pelos consumidores (KARDEC, 2006).

#### **4.1 Agentes de Mudança**

A implantação de um método estratégico dentro da manutenção começa como um processo sistemático, planejado, gerenciado, executado e acompanhado sob a liderança da alta administração da instituição, envolvendo e comprometendo todos os gerentes, responsáveis e colaboradores da organização (COSTA, 2003).

Segundo KARDEC (2012, p. 46-47) Para deflagrar um processo de mudança e necessário o conhecimento de 10 condições ou características que se deve ter para liderar este processo, São elas:

- Objetivo: é preciso ter clareza de que se quer mudar e imprescindível ter foco;
- Disciplina: estabelecer um plano de ação e disciplina pra cumpri-lo;

- Conhecimento: é preciso ter clareza e propósito e, sobretudo, ser “mestre” para transmitir pra os demais envolvidos;
- Articular aliados: não se vai a lugar algum sozinho, sobretudo para enfrentar as naturais resistências que, inevitavelmente, surgirão pelo caminho;
- Convicção de mudança: o líder tem que transmitir confiança na mudança e que ela será beneficiária para as diversas partes envolvidas;
- Comunicação das vantagens da mudança: nenhuma mudança deve ser deflagrada sem se ter uma clareza de seus benefícios e que isto seja mostrado para todos;
- Energizador: o agente de mudança tem que ser uma permanente luz e energia para aqueles que tendem a fraquejar ao longo do caminho
- Coragem: é necessária muita garra para ir em frente, apesar de resistências que, naturalmente, ocorrerão;
- Estratégia: vários dos pontos já citados devem compor uma estratégia que garanta uma boa margem de sucesso na implantação do processo.
- E, sobretudo, PERSISTÊNCIA.

## 4.2 Profissionais da Manutenção

Segundo Kardec (2012) “o gerenciamento estratégico de manutenção consiste em ter a equipe atuando para evitar que ocorram falhas e não atuando apenas na correção destas falhas”.

Devido às mudanças os profissionais de manutenção devem quebrar o paradigma do passado onde o profissional sente-se bem quando executa um bom reparo, Mudando esse paradigma para que o profissional sente-se bem quando ele consegue evitar todas as falhas não previstas, o profissional da manutenção do presente e do futuro precisa ser bastante “cabeçudo” não no sentido de ser teimoso mais no sentido de usar muito a cabeça para evitar que os problemas aconteçam. Sem essa mudança de paradigmas terá de ser feito um grande esforço para obter uma melhoria pouco significativa nos

resultados, melhorias que não é suficiente para que a empresas permaneçam no mercado (KARDEC, 2012).

Figura 1 - Profissionais da manutenção: Profissional do presente e futuro x Profissional do passado



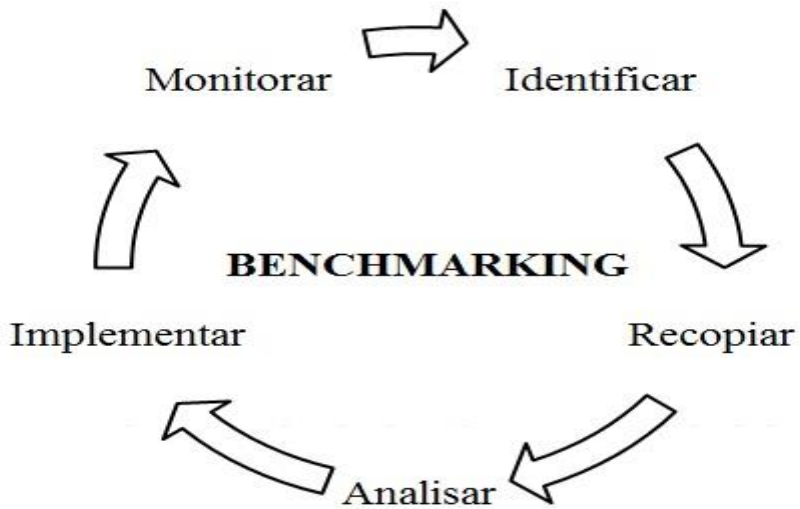
Fonte: Gestão e terceirização na manutenção (KARDEC, 2013).

### 4.3 Benchmarking e Benchmark

Segundo Eaton (1996) “benchmarking significa o estabelecimento de uma prática, de recolha de dados, de objetivos e comparadores, com os quais é possível identificar determinados níveis de performance”. Através da adoção dessas melhores práticas (Best practices) identificadas é suposto melhorar a performance de determinadas áreas da empresa. É definido a situação atual da manutenção tendo conhecimento do estágio em que se encontra e usando o sistema Benchmark que segundo Kardec (2012) “é uma medida, uma referência, um nível de performance, reconhecimento como

padrão de excelência para um processo de negócio específico”. Através desse processo é definida a visão do futuro como metas que expressam de maneira transparente os objetivos da empresa.

Figura 2 – Ciclo Benchmarking



Fonte: Adaptado de (CARE, 1999).

#### 4.4 Qualidade na Manutenção

Para Souris (1992) “a busca pela qualidade do processo e do produto passa pela qualidade da manutenção”. A qualidade da função manutenção pode evitar a deterioração das funções operacionais dos equipamentos, especialmente aquelas que levam a falhas ocultas, que resultam na incapacidade do processo. Apenas uma manutenção adequada pode garantir que o processo não perderá sua capacidade devido a desvios provocados por problemas no equipamento. A manutenção é encarada como essencial

também nos sistemas de gestão da qualidade, como a ISO 9000 (KARDEC, 2001).

#### **4.4.1 Utilização do programa 5S**

O modelo é baseado na filosofia japonesa que envolve cinco sentidos: Seiri: senso de utilização; Seiton: senso de arrumação; Seiso: senso de limpeza; Seiketsu: senso de padronização; Shitsuke: senso de disciplina. O objetivo principal do programa é envolver toda a equipe em um processo contínuo de organização, arrumação, limpeza, padronização e autodisciplina visando à melhoria nas condições do ambiente de trabalho, tornando mais ágil e eficaz o desenvolvimento das tarefas rotineiras (NATALI, 1995).

#### **4.5 Indicadores de Desempenho da Manutenção**

Para Filho (2006) “os indicadores de manutenção podem ser descritos como dados estatísticos relativos à situação da manutenção, sua performance e o crescimento de sua qualidade e desempenho de suas funções”.

Os indicadores são criados e usados pelos gerentes para verificar o desempenho e conduzir a pretensão das metas estabelecidas pela empresa. Estes indicadores devem expor onde e quais as melhorias devem ser inseridas para melhorar os processos ou mesmo para ressaltar o desempenho convincente (KARDEC, 2002).

O indicador de manutenção, perfeitamente gerenciado, deve favorecer amplas benfeitorias no desempenho das máquinas e da manutenção e pode demonstrar algumas soluções simples, como a despesa de manutenção, a taxa ou o

tempo de parada de produção por um período de tempo, ou até mesmo o número de falhas sucedidas em um período (XENOS, 2004).

Nascif (2013) indica alguns indicadores de desempenho que são referências na manutenção, são eles:

- a) MTBF – Mean Time Between Failures ou Tempo Médio Entre Falhas

MTBF = tempo total do bom funcionamento em um período / número de falhas

- b) MTTR – Mean Time Between Repair ou Tempo Médio Entre Reparos

MTTR = total de horas de parada causadas por falhas / número de falhas

- c) Availability – Fator disponibilidade

A = tempo disponível / (tempo disponível + tempo indisponível) x 100 %

- d) GE – Giro do estoque

GE = (total R\$/ano utilizados do estoque) / (valor total do estoque (valor do inventário))

- e) IMF – Custo total de manutenção por faturamento bruto

IMF = (custo total de manutenção (materiais, serviços, mão de obra própria e terceiros)(R\$)) / (Faturamento bruto (R\$))

- e) MO – Custo de mão-de-obra

MO = (custo da mão de obra / custo total da manutenção) x 100(%)

- f) CM – Custo de materiais

CM = (Custo total de materiais aplicados pela Manutenção / Custo total da manutenção) x 100(%)

## 4.6 Custos da Manutenção

Segundo Kardec (2001) “a necessidade das indústrias em reduzir custos de manutenção, custos de qualidade e o avanço tecnológico que a cada momento vêm se desenvolvendo, a manutenção busca novos métodos e novas técnicas para combater às quebras e outras perdas relacionados ao equipamento”.

Faria (1994) enfatiza que “os custos em torno de um departamento de manutenção devem ser gerenciados para que seja o mínimo necessário e suficiente”. Kelly (1980) aborda que “as organizações industriais existem em função do lucro, utilizando equipamentos e mão de obra para transformar materiais em produtos acabados”.

Para Mirshwa (1993) o custo de manutenção correspondente aos recursos de mão de obra, subcontratações, ferramentas e instrumentação e materiais aplicados nas intervenções.

A importância da manutenção dentro do modelo estratégico empresarial se dá por conta do aumento da complexidade e a grande inserção da automação nos mais diversos sistemas de produção, sendo assim a fim de manter máquinas e equipamentos em níveis de performance desejados, é preciso reduzir as paradas por manutenção e conseqüentemente os custos envolvidos. Sendo os custos de manutenção que definem e expressam as ações tomadas, bem como, as estratégias de manutenção adotadas para manter a disponibilidade operacional e a eficiência dos equipamentos (KARDEC, 2009).

Chiu (1996) concluí que a melhor relação de custo-benefício é quando a manutenção é tratada de forma planejada em vez de situações de descontrole como a manutenção corretiva.

## **5 IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA**

Mobley (2002) define a manutenção preditiva como uma regular monitorização do atual estado das condições mecânicas, eficiência de operação, e outros indicadores, de forma a proporcionar dados que assegurem o máximo intervalo entre reparações e minimizem o número e custo das paragens não agendadas.

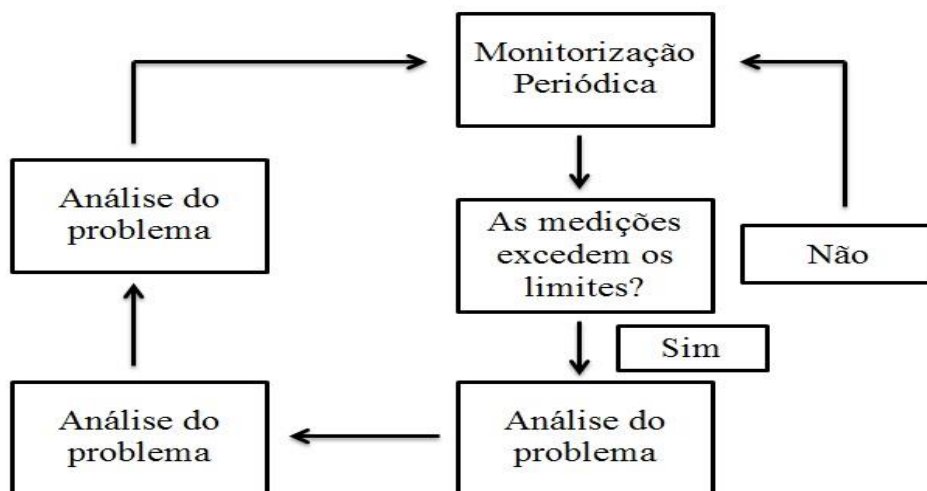
A aplicação de um sistema de manutenção preditiva apresenta várias vantagens em comparação a manutenções mais comuns como preventiva e corretiva. O sistema implica parar o equipamento apenas quando este começa a entrar em falha, utilizando-o até o máximo do seu ciclo de vida. Desta forma não existe desperdício de tempo relativo a paradas não programadas e paradas programadas desnecessárias, aumentando a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos (TELANG, 2010).

Segundo Brown (1999) “a manutenção preditiva tem uma abordagem que compara a tendência das medições dos parâmetros físicos analisados com os limites estabelecidos para esses parâmetros, de forma a detectar, analisar e corrigir problemas antes que levem à falha dos equipamentos”.

Uma abordagem preditiva pode ser aplicada a qualquer problema de equipamentos se pelo menos um parâmetro físico, como vibrações, temperatura, pressão, tensão, corrente, ou resistência pode ser medida. Um limite para a medida parâmetro físico deve ser estabelecido de modo um problema pode ser detectado durante a monitorização de rotina, Esse limite

deve ser baixo o suficiente para detectar o problema antes de ocorrer falhas ou quebras, buscando corrigir a causa raiz do problema torna-se a chave para a maioria dos esforços preditivos (BROWN, 1999).

Figura 3 – Manutenção Preditiva: Ciclo de monitoramento das condições dos equipamentos



Fonte: Adaptado de (BROWN, 1999).

Os parâmetros estabelecidos são medidos periodicamente semanal, bissemanal, mensal. Se a medida excede o limite estabelecido pelos fornecedores dos equipamentos de análise, grupos industriais ou organizações internacionais como a Organização Internacional para a Padronização, deve ser analisado o problema ocorrido, sendo que a análise pode ser feita de muitas formas. Tomando como exemplo a análise de vibrações que pode ser feita em equipamento rotativo como motores, o técnico analisador pode avaliar o problema levando em consideração problemas já ocorridos e problemas comuns como desalinhamento e desbalanceamento. Assim que a origem do problema é determinada é

escolhida a melhor forma de reparo, o tempo para corrigir o problema deve ser analisado para que não ocorra à falha ou quebra ocasionados danos maiores aos equipamentos. Normalmente uma ordem de serviço é aberta para iniciar o processo de reparação. Após a Correção do problema raiz o equipamento fica sujeito novamente a monitorização periódica (BROWN, 1999).

A muitas técnicas preditivas que podem ser utilizadas para monitorar as condições operacionais e eficiência de equipamentos e sistemas, sendo na maioria das situações necessárias recorrerem a mais do que uma técnica para obter uma cobertura completa de todos os aspectos críticos e maximizar os benefícios da sua utilização (SMITH, 2007).

## **5.1 Principais Análises & técnicas preditivas**

As análise e técnicas preditivas são classificadas como ensaios não destrutivos que segundo a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI) são procedimentos realizados na manutenção em que os materiais, equipamentos, máquinas não passam por um processo de danificação, considerado assim como ensaio não destrutivos.

### **5.1.1 Análise de Vibrações**

A análise de vibrações avalia o estado operacional e mecânico dos equipamentos e tem a capacidade de detectar problemas muito antes destes se tornarem graves. A vibração corresponde a uma oscilação em torno de um ponto de referência e existe quando um sistema reage a forças internas e

externas. Problemas mecânicos como desalinhamento e desbalanceamento geram vibrações apenas numa única frequência, sendo assim possível analisar a vibração do equipamento e identificar qual o seu problema (MAIS, 2002).

Uma das técnicas de análise de vibrações muito utilizada é o nível global de vibração. Esta técnica mede a amplitude total de vibração, expressa em deslocamento, velocidade ou aceleração, para uma gama específica de frequências. O nível global de vibração pode ser obtido através de um equipamento de medição próprio ou do somatório dos valores de amplitude do espectro de frequências, dentro da gama de vibrações estabelecida. A identificação de problemas no nível global de vibrações é efectuada através de comparação de valores pelas normas ou históricos do próprio equipamento (SCHEFFER, 2004).

### **5.1.2 Análise do lubrificante**

A análise do lubrificante consiste em coletar amostras de óleo em um determinado período de funcionamento do equipamento e, posteriormente, avaliá-las para determinar tanto o estado do equipamento quanto do lubrificante (FYGUERO, 1997). O estado em que o óleo sofre determinada degradação é aquele em que ele perde sua capacidade de lubrificar devido a uma variação das propriedades físicas e químicas de seus aditivos (KIMURA, 2010).

Por meio de análises em laboratório é possível expressar a existência de partículas metálicas no óleo, indicando se os desgastes nos equipamentos estão ou não de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos. A qualidade do

óleo, aliás, pode indicar algumas alterações no desempenho das máquinas, como trabalho em temperaturas elevadas ou a presença de contaminantes no sistema como água ou outros produtos (KARDEC, 2009).

### **5.1.3 Análise de Ultrassom**

A análise de Ultra-Som é empregada para detectar, localizar e dimensionar descontinuidades. Atualmente sua aplicação vem se estendendo para outros tipos de ensaios tais como a avaliação da textura dos materiais, medida de tensões residuais, determinação do tamanho de grão, estudo de constantes elásticas, avaliação de porosidades em materiais cerâmicos e outros. Para cada aplicação faz-se uso de certos fenômenos que ocorrem quando a onda ultrassônica atravessa o material, como o retroespalhamento da onda, que através da medida da atenuação permite definir alguns parâmetros do material. Para a medição das tensões residuais utiliza-se do fenômeno da variação da velocidade da onda ultrassônica, que ocorre nos materiais metálicos devido à anisotropia acústica gerada pela textura e tensão residual (BITTENCOURT, 1998).

Baseado na utilização de pulsos de ultrassom lançados sobre o material, refletindo quando encontra qualquer obstáculo. O obstáculo pode ser alterações no material ou a superfície oposta do mesmo. O ensaio também permite medir espessuras de materiais onde a medição direta não é possível como em paredes de tubulações, vasos de pressão, grandes estruturas, medição de corrosão, ou a existência de alterações com razoável precisão, permitindo a aceitação ou rejeição dos materiais. Outra utilização é a detecção de vazamentos onde utiliza um receptor que detecta os sons

emitidos e os compara com uma base de dados, identificado assim através do tipo de som emitido, o tipo de vazamento (KARDEC, 2007).

#### **5.1.4 Análise termográfica**

A inspeção termográfica é uma análise realizada para medir temperaturas ou observar os padrões de distribuição de calor utilizando sistema infravermelho. O objetivo é obter informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo (VERATTI, 1992). Utiliza-se da radiação térmica para quantificar a temperatura emitida pelas superfícies. Qualquer superfície à temperatura de zero absoluto ( $T= 0K$  ou  $T= - 273,15^{\circ}C$ ) emite radiação eletromagnética. A quantidade de radiação depende da temperatura onde quanto mais quente a superfície mais energia emite e propriedades do material (VOLLMER, 2010).

A Termografia é uma técnica para avaliar a condição do equipamento, através da comparação dos valores de temperatura com equipamentos idênticos, valores de referência ou limites. Um exemplo deste método é o caso de duas máquinas que estejam a funcionar no mesmo ambiente sob as mesmas condições, e uma apresenta uma temperatura superior à outra. É provável que uma condição de deterioração possa existir. Embora as medições qualitativas possam detectar deficiências, é através das medições quantitativas que se tem a capacidade para determinar a gravidade. Este critério define a rapidez da intervenção a efetuar de acordo com o valor obtido através da subtração do maior valor de temperatura em relação a uma temperatura de referência, que normalmente é a temperatura do ar ambiente,

um componente semelhante nas mesmas condições ou a temperatura máxima admissível do componente (HITCHCOCK, 2003).

### **5.1.5 Inspeção visual**

É uma das técnicas mais antigas de inspeção utilizadas pelo homem. É utilizada detecção de alterações visíveis ao olho humano, em materiais, peças, componentes e equipamentos. A tecnologia tem dado mais importância para essa inspeção, Onde é possível utilizar câmeras de alta resolução e softwares específicos para averiguar a existência de alterações, como dimensão, qualidade do acabamento, alterações superficiais visíveis como trincas, corrosão, deformações, porosidades. Em locais de difícil acesso, ou no interior de máquinas, ao invés de desmontar o equipamento para a inspeção, utiliza-se o equipamento de boroscópio que é um longo fio flexível ligado a uma câmera que ilumina áreas dentro dos equipamentos e tubulações (KARDEC, 2007).

A Administração Nacional Aeronáutica e Espacial (NASA) é um exemplo de uma grande organização que utiliza a manutenção preditiva. O quadro abaixo mostra as análises preditivas utilizadas e em quais equipamentos dentro da agência.

Quadro 1 – Manutenções preditivas utilizadas pela NASA

Tecnologias \ Aplicações	Bombas	Motores elétricos	Geradores diesel	Disjuntores	Permutadores de calor	Sistemas elétricos
Análise de Vibrações	☑	☑	☑			
Análise de lubrificação	☑	☑	☑			
Monitorização do desempenho	☑	☑	☑		☑	
Análise por ultrassons	☑	☑	☑		☑	☑
Termografia infravermelha	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Inspeção visual	☑	☑	☑	☑	☑	☑

Fonte: Adaptado de (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2016).

## 6 ANÁLISE DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma pesquisa em 500 fábricas, onde foi executado técnicas de manutenção preditiva, apresentou melhorias relevantes na contabilidade, disponibilidade, e custos operacionais. Realizado pelo grupo Australiano “Plant Performance Group”, onde o objetivo do levantamento foi classificar os benefícios da utilização de técnicas de manutenção preditiva como parte chave da filosofia de manutenção. O grupo de fábricas incluiu uma variedade de indústrias nos Estados Unidos, Canadá, Grã-Bretanha, França, e Austrália. As indústrias incluídas são dos ramos de geração de energia elétrica, papel e celulose, processamento alimentício, têxteis, ferro e aço, alumínio, e outras indústrias de manufatura ou de processo. Cada participante tinha um programa de manutenção preditiva com um mínimo de três anos de

implantação. Os programas bem sucedidos incluídos ofereceram uma visão geral dos tipos de melhorias, que são esperadas a partir de um programa de gerência de manutenção preditiva abrangente. De acordo com resultados do levantamento, as maiores melhorias podem ser obtidas nos custos de manutenção, falhas não programadas, tempo parado para reparo, redução de estoque, redução de hora extra. Em complemento, o levantamento indicou melhorias essenciais na vida das máquinas, produção, segurança do operador, qualidade do produto, e lucro absoluto (ALMEIDA, 2008).

Tabela 1 – Pesquisa Plant Performance Group: Benefícios percentuais da manutenção preditiva

Benefícios	Percentual
Redução dos custos de manutenção	50 a 80 %
Redução de falhas nas máquinas	50 a 60%
Redução de estoques sobressalentes	20 a 30 %
Redução de horas extras	20 a 50 %
Redução do tempo de parada	50 a 80 %
Aumento na vida das máquinas	20 a 40 %
Aumento da produtividade	20 a 30 %
Aumento dos lucros	25 a 60 %

Fonte: Adaptado de (ALMEIDA, 2008).

## 7 CONCLUSÃO

Analisando-se as empresas líderes, ou de sucesso, percebe-se que essas organizações, adotam cada vez mais, técnicas preditivas e a prática da engenharia de manutenção. A manutenção, desta forma, é considerada estratégica para as organizações, pois ela garante a disponibilidade dos equipamentos e instalações com confiabilidade, segurança e dentro de custos adequados (KARDEC, 2003).

Para garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações com confiabilidade é fundamental que a Manutenção atue: Privilegiando a adoção da Manutenção Preditiva e Adotando a Engenharia de Manutenção como uma maneira de analisar e promover as melhorias necessárias. Além de reduzir os custos envolvidos, como demonstrado na tabela abaixo onde demonstra os tipos de manutenção com os seus custos anuais em dólares medidos em Horse Power.

Tabela 2 – Custo da manutenção pelo tipo

Tipo de Manutenção	Custo US\$/HP/Ano
Corretiva não Planejada	17 a 18
Preventiva	11 a 13
Preditiva / Corretiva Planejada	7 a 9

Fonte: Adaptado de (NASCIF, 2016).

Estaremos também privilegiando a Disponibilidade dos equipamentos e instalações. Mais ainda existe uma lacuna muito grande entre o que deveria ser feito e o que se pratica na Manutenção. No Brasil ainda se trabalha com muita Manutenção Corretiva Não Planejada e com Manutenção Preventiva em excesso. Segundo o Documento Nacional da Abraman, o nível de atuação, ficou nos seguintes valores percentuais.

Tabela 3 – Percentual da utilização da manutenção no Brasil

Tipos de Manutenção	%
Manutenção Corretiva	28
Manutenção Preventiva	36
Manutenção Preditiva	19
Engenharia de Manutenção	17

Fonte: Adaptado de (ABRAMAN, 2013).

Comparando a manutenção no Brasil com a de outros países onde a manutenção é considerada de primeiro mundo podemos visualizar que as manutenções planejadas como a preditiva e engenharia de manutenção é muito maior que a do Brasil, na Tabela 4 abaixo mostra como está a utilização da manutenção no Brasil e nos países de primeiro mundo.

Tabela 4 – Comparação entre a manutenção utilizada no primeiro mundo e no Brasil

Tipos de Manutenção	Primeiro Mundo em relação com o Brasil
Corretiva não planejada	Menor
Preventiva	Igual
Preditiva	Maior
Engenharia de Manutenção	Maior

Fonte: Adaptado de (KARDEC, 2013).

A partir dessas informações devemos promover mudanças de modo que o nível de atuação através da aplicação de Manutenção Preditiva e práticas da engenharia de manutenção sejam aumentados mais rapidamente no Brasil. E a Manutenção Preventiva e corretiva sejam reduzidas fortemente. E a partir do aumentando dessas Manutenções obtermos melhores resultados empresariais em nosso país e desta forma caminharemos para a excelência industrial.

## 8 SUGESTÕES PRA TRABALHOS FUTUROS

Após a implantação da manutenção preditiva com sucesso nas empresas. As organizações podem se consolidar buscando a manutenção mais desejada mundialmente a Manutenção Produtiva Total, pois além de englobar

a manutenção preditiva e outras manutenções planejadas, ela traz o conceito dos oito pilares para a gestão de manutenção.

A TPM abrange todo o setor de Produção, passando a focar o Processo de Produção e a eliminação de todas as perdas desse processo, além das perdas dos equipamentos. Assim a TPM passou a englobar todos os setores da empresa, estabelecendo um sistema de gestão totalmente integrado, focando o atendimento às diretrizes do negócio da empresa, passando a contribuir com todos os setores, além da manutenção (JIPM, 2008).

## **STRATEGIES FOR MANAGEMENT OF INDUSTRIAL MAINTENANCE**

### **Abstract**

Today's organizations are constantly seeking management tools, which provide competitiveness through quality and productivity of its products. To become competitive in the business market, companies require that all their structure departments result in better results in the search for operational excellence. Keeping with its strategic role in charge is directly the availability of production assets, are of utmost importance in the results of companies. This work aims to show the maintenance engineering practices and predictive maintenance and beneficial they bring to the sector and for corporate profits. The important strategies in this research makes the maintenance management in the most efficient and competitive enterprises through asset management and predictive maintenance of equipment, thus helping to achieve the business goals set in its strategic plan. bibliographic referenced were performed which describes comprehensively technical information, criteria and practices for management focused on the pursuit of business excellence. With results presented by a survey conducted by Plant Performance Group, an Australian group specializing in performance

consulting of plants through 500 industries in the United States, Canada, Britain, France, and Australia in electric power generation services, paper and pulp, food processing, textiles, iron and steel, aluminum, and other manufacturing industries or process which exposes the percentage that has beneficial when using predictive maintenance techniques such as maintenance philosophy. From the result of the study it was concluded that facilities implemented predictive maintenance methods showed substantial improvements in accounting, availability, and operational costs.

**Key-words:** Strategies, Management, Maintenance.

e-TEC

## REFERÊNCIAS

ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção. Documentos Nacionais: A Situação da Manutenção no Brasil. Salvador, 2013. 23 p.

ALMEIDA, Marcio Tadeu de. Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade. Itajubá, 2008. Disponível em: < <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf> >, Acessado em: 26 Abril de 2016.

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. Manutenção Preditiva: benefícios e lucratividade. Itajubá 2008. Disponível em: < <http://www.mtaev.com.br/download/mnt2.pdf> > Acessado em: 11 Maio de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 37 p.

BITTENCOURT, M. S. Q; LAMY, C. A.; PAYÃO, J. C. F. Determinação da Direção de Laminação de Aços e Ligas de Alumínio por Ultra-Som. Revista de Soldagem & Inspeção, Curitiba, n° 3, ano 4, 1998, 12-16 p.

BRITTO, Ricardo Pitelli de; PEREIRA, Marcio Adão. Manutenção autônoma: estudo de caso em empresa de porte médio do setor de bebidas. In: VII SEMEAD, Seminário de Estudos de Administração da USP, 2003. Disponível em: < <http://docplayer.com.br/14571447-Manutencao-autonoma-estudo-de-caso-em-empresa-de-porte-medio-do-setor-de-bebidas.html> > Acessado em: 11 maio de 2016.

BROWN, M. Applying the Predictive Approach. 1999. Disponível em: < [http://www.plantservices.com/assets/knowledge\\_centers/ansi/assets/Applying\\_the\\_Predictive\\_Approach.pdf](http://www.plantservices.com/assets/knowledge_centers/ansi/assets/Applying_the_Predictive_Approach.pdf) > Acessado em: 11 Maio de 2016.

CARE, Benchmarking no desenvolvimento organizacional de saúde. 1999. Disponível em: < [http://www.care.org.ec/apolo/bolet\\_99/abril\\_99.html](http://www.care.org.ec/apolo/bolet_99/abril_99.html) >. Acessado em: 04 Julho de 2016.

CHIU, H.N. & HUANG, B.S. The economic design of  $\bar{x}$  control charts under a preventive maintenance policy. Journal of Quality in Management engineering, Cambridge, n° 13, ano 1, 1996. 61-71 p.

COSTA, Eliezer Arantes da. Gestão Estratégica. São Paulo: Editora Saraiva, 2003. 424 p.

DIAS, Hélio Junior. Manutenção Autônoma em Célula de Produção. 2007. Programa de Pós Graduação em Gerência de Manutenção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. 77 p.

EATON, Graham. Management Accounting Official Terminology. 1ª edição. Portland: CIMA, 1996. 120 p.

FARIA, José Carlos. Administração: introdução ao estudo. São Paulo: Pioneria, 1994. 168 p.

FYGUERO, A.; SIMÓN, J. Mantenimiento de Motores Diesel: Consejo de Estudios de Postgrado. Mérida: Universidad de Los Andes. 1997. 133 p.

FILHO, Gil Brando. Custos em Manutenção. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2010. 160 p.

FILHO, Gil Brando. Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade. 4ª edição. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006. 292 p.

HITCHCOCK; L. Using Thermal Imaging To Help Solve Lubrication Problems. SKF. 2003.

Disponível em: < <http://www.skf.com/de/knowledge-centre/index.html> >  
Acessado em: 30 Junho de 2016

JIPM. Japan Institute of Plant Maintenance Solutions Company Limited. 2008. Disponível em: <<http://www.tpm.jipms.jp/>>. Acessado em: 07 Julho de 2016

KARDEC, Alan. Gestão e terceirização na manutenção. Belo Horizonte. 14 p. 2013. Disponível em: < <http://tecem.com.br/site/downloads/artigos/alan.pdf> > Acessado em: 04 Julho de 2016.

KARDEC; PINTO; FLORES; FORTES; SEIXAS, SANTANA. Gestão Estratégica e Indicadores de Desempenho. 1ª edição, Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2002. 120 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: Função Estratégica. 1ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1998. 287 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: Função Estratégica. 2ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2001. 339 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: Função Estratégica, 2ª edição, 1ª reimpressão Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2003. 349 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: função estratégica, 2ª edição, 2ª reimpressão Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2006. 356 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2009. 384 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: função estratégica, 4ª edição, Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012. 440 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2007. 160 p.

KAZUO, Kayo Eduardo. Ativos Intangíveis, Ciclo de Vida e Criação de Valor. Revista de administração Contemporânea, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 73-90, Jul./Set. 2006.

KELLY, A.; HARRIS, M. J. Administração da manutenção industrial. Rio de Janeiro: IBP, 1980. 258 p.

KIMURA, R. K. Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante. São Paulo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2010. 129 p.

MAIS, Jason; BRADY, Scott. Introduction Guide to Vibration Monitoring, SKF: San Diego, 2002. 30 p.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N.C. Manutenção: combate aos custos na não eficácia a vez do Brasil. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1993. 378 p.

MOBLEY, R. K. An introduction to predictive maintenance. Knoxville: Butterworth-Heinemann, 2002, 437 p.

NASCIF, Júlio. Manutenção tipos e tendências. Belo Horizonte. 4 p. Disponível em: < <http://tecem.com.br/site/downloads/artigos/tendencia.pdf> > Acessado em: 16 maio de 2016.

NASCIF, Júlio. Indicadores de manutenção. Belo Horizonte. 2013. 14 p. Disponível em: < <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/15%20-%20Cap%EDtulo%2013.pdf> > Acessado em: 28 Junho de 2016.

NATALI, M. Praticando o 5S: na indústria, comércio e vida pessoal. São Paulo: STS, 1995. 101 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. RCM guide for facilities and collateral equipment. 2008. 472 p. Disponível em: < <http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/Assets/Docs/NASARCMGuide.pdf> > Acessado em: 11 Maio de 2016.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Revista Gestão Industrial. Ponta Grossa, v.4, n.2, p 01 – 16, 2008.

Plant Performance Group, Página Eletrônica Disponível em: < <http://www.plantperformance.com.au/> >. Acessado em 16 Maio de 2016.

PEREIRA, Mário J. Técnicas avançadas de manutenção. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2010. 96 p.

SCHEFFER, C. and GIRDHAR P. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance, Amsterdã: Newnes. 2004. 272 p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Manutenção: Módulos especiais – mecânica. São Paulo: FIESP, 2000. Disponível em: < <http://bmalbert.yolasite.com/resources/Manuten%C3%A7%C3%A3o.pdf> > Acessado em: 25 Abril de 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 2002. 703 p.

SMITH, M; MOBLEY R. K. Rules of thumb for Maintenance and Reliability Engineers System. 1ª edição, Virginia: Butterworth-Heinemann, 2007, 336 p.

SOURIS, J. Manutenção industrial: custo ou benefício. Lisboa: Lidel, 1992. 192 p.

SOUZA, José. Barrozo. Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem analítica, 2008. 169 p.

TELANG, A. Comprehensive Maintenance Management: Policies, strategies and Options, Pittsburgh: PHI Learning Private Limited, (2010). 192 p.

VERATTI, Attílio Bruno. Termografia: princípios, aplicações e qualidade. São Paulo: ICON Tecnologia e Serviços Ltda, 1992. Disponível em: < <http://www.termonautas.com.br/> > Acessado em: 11 Maio de 2016.

VOLLMER; M. & MÖLLMANN; K. PInfrared thermal imaging: fundamentals, research and applications, Weinheim:Wiley-VCH. 2010. 612 p.

XENOS, Harilaus Georgius D'Philippos. Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004. 312 p.

**Editora**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**SENAI LONDRINA - E-tec- II-2016**