



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE  
SERGIPE – FANESE  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**REYNALDO MASCARENHAS DA SILVA**

**TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA: um estudo de  
caso aplicado em uma unidade de beneficiamento de  
silvinita**

**Aracaju/SE  
2009.2**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Reynaldo Mascarenhas da.

TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA: um estudo de caso aplicado em uma unidade de beneficiamento de silvinita/Reynaldo Mascarenhas de Silva – 2009.

68p. il.

Monografia (graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza

1. Manutenção Preditiva I. Título

CDU 658.81

**REYNALDO MASCARENHAS DA SILVA**

**TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA: um estudo de caso aplicado em uma unidade de beneficiamento de silvinita**

Monografia apresentada ao departamento de Engenharia de Produção da Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe, como Requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza

Coordenador: Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas

**Aracaju/SE  
2009.2**

**REYNALDO MASCARENHAS DA SILVA**

**TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA: um estudo de caso aplicado em uma unidade de beneficiamento de silvinita**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe – FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2009.2.

---

**Prof. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza**  
**1º Examinador (Orientador)**

---

**Prof. Dr. Jefferson Arlen de Freitas**  
**2º Examinador**

---

**Prof. Esp. Shegeak Cristhian Francisco da Silva**  
**3º Examinador**

**Aprovado com média: \_\_\_\_\_**

**Aracaju, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009.**

Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida: minha mãe, Isaura Mascarenhas da Silva minha esposa, Claudiene Batista de Moraes, aos meus filhos Rodrigo Meneses da Silva, Reynaldo M. da Silva Júnior. Rafael Mascarenhas da Silva e meus irmãos Renato Mascarenhas da Silva e Maria de Fátima Mascarenhas da Silva que cultivaram o amor em mim.

*“Um aprendizado acadêmico, não baseado na prática, é como um cadáver embalsamado, talvez para ser visto, mas que não inspira nem nobilita nada.”*

*Ghandi*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus nosso criador, pela dádiva de estar com saúde, para presenciar este momento de tanta felicidade, pela coragem para superar as dificuldades desta escalada para alcançar esta meta.

Agradeço a minha esposa Claudiene Batista de Moraes, por participar junto comigo desta jornada, a meus filhos Rodrigo Menezes da Silva, Reynaldo Mascarenhas da Silva Júnior e Rafael Mascarenhas da Silva que sempre me incentivaram diante das dificuldades e que abdicaram dos momentos de lazer para me apoiar nas horas de maior dificuldade.

À minha adorada mãe, Isaura Mascarenhas da Silva e a minha sogra Maria Alveniza que juntas me apoiaram na realização dessa conquista.

Aos meus irmãos Renato Jorge Mascarenhas da Silva e Maria de Fátima Mascarenhas da Silva pelo orgulho e incentivo que sempre depositaram em mim.

Aos meus companheiros de jornada que, nestes cinco anos, me auxiliaram e estiveram ao meu lado.

Ao meu orientador, Prof. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza, pelo apoio e dedicação dispensados.

Aos professores que contribuíram para meu crescimento intelectual e social durante estes cinco anos de trabalho.

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

**ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas**

**MCM – Manutenção de Classe Mundial**

**SGM – Sistema de Gestão da Manutenção**

**FTA – Árvore de Falhas**

**FMEA – Análise dos efeitos e modos de falhas**

**MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade**

**TMPR – Tempo Médio Para Reparo**



## RESUMO

O tema deste trabalho acadêmico intitulado, **TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA**: Um estudo de caso aplicado em uma unidade de beneficiamento de minério consiste em avaliar técnicas de manutenção preditiva, como análise de vibração, termografia e análise de lubrificantes, criar possibilidade de aperfeiçoar o gerenciamento da manutenção através da priorização das atividades a serem executadas e possibilitando o direcionamento de esforços para reduzir ou bloquear defeitos crônicos, aplicadas em equipamentos rotativos e estáticos. Evitando também paradas repentinas e não planejadas e aumentar a disponibilidade física dos ativos. Após coletas de vibração iniciais identificou-se que a maior quantidade de defeitos estava relacionada ao desalinhamento entre eixos. A causa fundamental identificada através do diagrama de causa e efeito foi o instrumento de alinhamento que era obsoleto. Foi adquirido um alinhador a laser e efetuadas correções de alinhamento entre eixos com o novo método. A aplicação apenas da análise de vibração não impediu que houvessem paradas nos equipamentos monitorados, sendo necessária a aplicação de outras técnicas de preditiva como: termografia e análise de lubrificante para detectar defeitos nos mesmos. A solução foi encontrada na utilização de técnicas de manutenção preditiva de forma integrada, ou seja, utilizadas como complemento ou de forma a ratificar os defeitos encontrados.

**Palavras-chave:** Manutenção Preditiva. Análise De Vibração. Termografia. Disponibilidade Física.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Evolução da manutenção e seus resultados _____	23
Figura 02 – Classificação da manutenção _____	24
Figura 03 – Comportamento do ciclo da manutenção corretiva _____	25
Figura 04 – Comportamento do ciclo da manutenção preventiva _____	26
Figura 05 – Representação gráfica da lei de Hooke _____	28
Figura 06 – Interação da lei de Hooke e segunda lei de Newton _____	28
Figura 07 – Representação do deslocamento de uma partícula em MHS _____	29
Figura 08 – Representação do MHS nos sistemas mecânicos _____	30
Figura 09 – Gráfico no domínio do tempo _____	31
Figura 10 – Gráfico no domínio do tempo frequência _____	32
Figura 11 – Imagem térmica de uma rede elétrica _____	34
Figura 12 – Método básico do ensaio por ultra som _____	36
Figura 13 – Fenômeno da capilaridade dos líquidos _____	37
Figura 15 – Rolamentos de esfera de contato angular e rígido de esfera _____	39
Figura 15 – Rolamento de rolos cilíndricos _____	39
Figura 16 – Rolamentos autocompensadores de esfera _____	40
Figura 17 – Rolamento autocompensador de rolos _____	40
Figura 18 – Rolamentos de rolos cônicos _____	40
Figura 19 – Rolamento axial de rolos _____	41
Figura 20 – Rolamento de agulhas _____	41
Figura 21 – Diagrama de causa e efeito _____	43
Figura 22 – Diagrama de causa e efeito desalinhameno entre eixos _____	51
Figura 23 – Vista geral do compactador _____	55
Figura 24 – Corte lateral do redutor planetário _____	55
Figura 25 – Corte lateral do eixo com anel de moldagem _____	56
Figura 26 – Ilustração da região das trincas _____	59

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 1 – Identificação Litológica do minério</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 2 – Características da salmoura</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 3 – Velocidade do som em alguns meios</b>	<b>35</b>
<b>Quadro 1 – Criticidade dos grupos de equipamentos</b>	<b>52</b>
<b>Quadro 2 – Relatório de ensaio por ultra-som</b>	<b>62</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade de equipamentos avaliados _____	46
Gráfico 2 – Número de paradas em 2008 _____	48
Gráfico 3 – Total de paradas em 2008 _____	48
Gráfico 4 – Quantidade média de horas paradas _____	49
Gráfico 5 – Equipamentos com defeitos _____	50
Gráfico 6 – Tipos de defeitos detectados _____	53
Gráfico 7 – Quantidade de paradas > 12 horas _____	53
Gráfico 8 – Indicação de defeito no rolamento do eixo compactador _____	56

## LISTA DE FOTOS

<b>Foto 1 – Conjunto alinhador a laser</b>	<b>52</b>
<b>Foto 2 – Defeito no rolamento do eixo compactador</b>	<b>57</b>
<b>Foto 3 – Rolamento danificado do redutor</b>	<b>58</b>
<b>Foto 4 – Rolamento danificado do eixo compactador</b>	<b>58</b>
<b>Foto 5 – Trincas na região 6 e 7 do eixo compactador</b>	<b>60</b>
<b>Foto 6 – Ensaio por ultra-som do eixo compactador</b>	<b>60</b>
<b>Foto 7 – Imagem térmica do redutor planetário</b>	<b>62</b>
<b>Foto 8 – Redutor planetário do compactador</b>	<b>62</b>
<b>Foto 9 – Rolamento danificado do redutor planetário</b>	<b>63</b>
<b>Foto 10 – Partículas de cromo e bronze respectivamente</b>	<b>63</b>
<b>Foto 11 – Anel de moldagem fraturado</b>	<b>64</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Unidade Operacional de Extração de Silvinita .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Extração do minério silvinita.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Beneficiamento do minério silvinita.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2.1 britagem e moagem.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2.2 flotação e centrifugação.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2.3 secagem.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2.4 compactação.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2.5 filtragem.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2.6 salmouroduto.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Histórico da Manutenção.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Tipos de Manutenção.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.1 Manutenção corretiva.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 Manutenção preventiva.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.3 Manutenção preditiva.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.4 Manutenção detectiva.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.5 Manutenção produtiva e proativa.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Análise de vibração.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 Termografia.....</b>	<b>32</b>

<b>2.6 Ultra Sonografia Industrial.....</b>	<b>34</b>
<b>2.7 Ensaio com Líquido Penetrante .....</b>	<b>37</b>
<b>2.8 Rolamentos.....</b>	<b>38</b>
<b>2.9 Ferramentas de Qualidade.....</b>	<b>42</b>
<b>2.9.1 5W2H .....</b>	<b>42</b>
<b>2.9.2 Gráfico sequencial .....</b>	<b>42</b>
<b>2.9.3 Diagrama de causa e efeito .....</b>	<b>43</b>
<b>2.9.4 Fluxograma.....</b>	<b>44</b>
<b>2.9.5 Gráfico de pareto.....</b>	<b>44</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Informações Iniciais .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Dados Coletados .....</b>	<b>45</b>
<b>4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Condição Inicial .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 Identificação dos Defeitos.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Verificação das Ações Iniciais .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4 Identificação de Causas de Maior Impacto .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.1 Informações preliminares dos compactadores .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.2 Ocorrência das falhas nos compactadores.....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.3 Aplicação de outras técnicas de manutenção preditiva no compactador.....</b>	<b>58</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## **ANEXOS**

## 1 INTRODUÇÃO

Após a aplicação de métodos de produção mais eficientes como linhas de montagem e padronização de vários componentes dos equipamentos, percebeu-se que o controle dos serviços de apoio dentre eles a manutenção dos ativos, atividade anteriormente considerada irrelevante para as indústrias (TAVARES, 1999), era primordial para obterem-se melhores resultados, tanto na disponibilidade física quanto na racionalização dos custos. No detalhamento dos gastos de produção detectou-se que os custos oriundos pela falta de antecipação das ocorrências de manutenção nos processos produtivos eram excessivamente altos, despertando nas empresas a necessidade de planejar e controlar a manutenção, vista como vilã na sua cadeia produtiva. Com a criação das atividades da manutenção corretiva, é iniciada uma fase que veio dar confiabilidade aos ativos da empresa, devido controle de suas atuações.

Ainda de acordo com (SIQUEIRA, 2005), com a necessidade do aumento da produção e com término da 2ª guerra mundial surgiram as primeiras preocupações em evitar que as falhas ocorressem, a partir daí, começaram a surgir às equipes de manutenção preventiva que juntamente com as equipes de corretiva passaram a ter importância similar às equipes de operação.

Foram criados processos e planos de manutenção preventiva para manter a disponibilidade física dos equipamentos. Com esta estratégia adotada, as empresas assimilam boas práticas, porém com custos exigiam dispendiosas ações como a substituição de componentes que ainda não haviam atingido o final de sua vida útil.

A exigência cada vez maior por produção com prazos ainda menores conduziu as indústrias a manter seus ativos em operação por períodos maiores e com a evolução dos componentes eletro-eletrônicos surgiram vários métodos e instrumentos para coleta de dados que com o crescimento acelerado da informática os dados coletados nas áreas de produção começaram a ser melhor analisados. Isto também propiciou o surgimento da análise da vibração emitida por equipamentos rotativos que por características particulares é possível predizer não só qual ativo



deve sofrer intervenção, mas também qual componente interno deve ser substituído e com antecedência de modo a ser planejada e programada diminuindo o impacto no processo produtivo. Apesar de este método detectar até 80% dos defeitos em equipamentos rotativos, identificou-se a necessidade da criação de formas para identificação das outras anomalias e também em equipamentos estáticos que por sua característica não geram vibração espontânea.

Durante a segunda guerra mundial foram feitos vários avanços na obtenção de sistemas de comunicação, reconhecimento utilizando a radiação infravermelha e visão noturna. Estas técnicas foram utilizadas por aeronaves americanas para gerar um mapa térmico e detectar os tanques de guerra e soldados inimigos. As empresas visualizaram esta oportunidade como método para detecção de defeitos em equipamentos estáticos e rotativos. Locais onde o homem não pode manter contato físico, tais como: redes eletrificadas e pontos quentes ainda não visíveis. São identificados ainda no início do defeito sendo possível sua correção de maneira programada, sem gerar paradas repentinas da produção.

Neste contexto, o trabalho apresentado visa contribuir com a geração de fonte de pesquisa acadêmica na aplicação de métodos de detecção de anomalias em ativos com a possibilidade de otimizar o gerenciamento da manutenção através da priorização das atividades a serem executadas e possibilitando o direcionamento de esforços para reduzir ou bloquear defeitos crônicos.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Reduzir o número de paradas inesperadas de ativos em decorrência de defeitos em seus componentes internos e consequentemente aumentar a disponibilidade física dos mesmos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Identificar métodos de detecção de defeitos mais frequentes nos componentes interno dos ativos.

Aplicar técnicas de identificação de defeitos em equipamentos rotativos e estáticos.

Propor utilização de ferramentas para mitigar ou bloquear as anomalias encontradas nos equipamentos de produção.

## **1.2 Justificativa**

A abertura da economia mundial e a globalização proporcionaram o acesso a várias tecnologias de ponta a muitos países, como o Brasil, que tinha sua economia baseada na produção de grãos e criação de animais. Porém trouxeram a concorrência internacional para o parque industrial brasileiro já antigo e obsoleto.

Os empresários brasileiros entenderam que a ciranda financeira não era suficiente para sobrevivência de seus empreendimentos, sendo obrigados a investir em modelos de produção mais enxutos e profissionalizando o gerenciamento de suas indústrias muitas delas baseadas em empresas familiares.

As paradas dos ativos não são mais consideradas normais e sim visualizadas como perda de produção, podendo ser determinante para se sobressair diante da concorrência, para isso é necessário que se estabeleça um conjunto de práticas de manutenção de maneira que as diretrizes de gestão da manutenção sejam mais bem implantadas e difundidas em todo o corpo da manutenção, e assim se obtenha uma manutenção mais adequada, com melhorias em qualidade, custos e produtividade.

Pretende-se neste trabalho identificar ferramentas e métodos para antecipar a detecção de defeitos que podem gerar paradas repentinas dos ativos e aumentando esse intervalo. Os dados coletados produzem informações importantes para engenharia de manutenção que com modificações nos projetos dos equipamentos devem bloquear esses eventos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Após a segunda guerra mundial a manutenção sofreu uma grande modificação e a partir da década de 80 as técnicas preditivas foram as que mais deram retorno a de maior destaque é a análise de vibração, que com baixo investimento são de grande utilização.

### 2.1 Unidade Operacional de Extração de Silvinita.

O projeto para produção potássio iniciou-se em 1979 e sua operação em 1986. A mina de extração possui aproximadamente 185 km<sup>2</sup>, com profundidade média de 600 metros e única produtora de cloreto de potássio no Brasil. A produção com cerca de 780 mil ton./ano é comercializada no mercado brasileiro, abastecendo o mercado com 11% da demanda do produto.

O minério extraído da mina subterrânea é constituído por cinco níveis de diferentes características e com posicionamento estratigráfico bem definido. As litologias (ver tabela 1) são as seguintes:

Tabela 1 - identificação litológica do minério.

Minério	Halita	Silvinita	Carnalita	Taquidrita
<b>Composição química</b>	NaCl	KCl + NaCl	KCl.MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	2(MgCl).CaCl <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O
<b>Granulometria</b>	fina a grosseira variados tons de cinza, vermelha	fina a grosseira	fina a grosseira	Grosseira
<b>Coloração</b>	devido a presença de óxido de ferro e translúcida	branco a vermelho escuro	geralmente vermelha	cinza claro a laranja
<b>Impurezas</b>	anidrita, carbonato de cálcio e argila	Argila	argila	não possui

Fonte: Arquivo Técnico da Unidade de beneficiamento de silvinita

#### 2.1.1 Extração do minério silvinita.

A mina subterrânea entrou em operação a partir de 1986 com profundidade variando entre 430m a 640m. O método de lavra é o de câmaras e pilares longos com seção de 4m x 8m de largura. Seu desmonte é realizado em 5

frentes de lavra, sendo quatro com mineradores contínuos de Tambor e 1 em frente a áreas com altura de lavra superior a 4 metros com desmonte por explosivos, com um perfuratriz tipo Jumbo e LHD; possibilitando uma produção de 1,5 milhão de ton/ano

Após estudos de viabilidade e obsolescência os equipamentos foram substituídos por mineradores contínuos de rotor com ação frontal *Marietta*, carros-transportadores *shuttle-cars* e alimentador-quebradores *feeder-breakers* com produção média de 2,6 milhões de ton/ano.

O minério é transportado das frentes de lavra para os silos de transferência através de correias transportadoras e içado por elevadores de carga *skip* até a superfície.

### 2.1.2 Beneficiamento do minério silvinita

O minério é extraído na forma de sais solúveis e constituído de silvinita e a carnalita. Outros minerais de potássio presentes são: kainita (KCl. MgSO<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O), langbeinita (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.MgSO<sub>4</sub>), polihalita (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.SO<sub>4</sub>.2CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) e leonita (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.MgSO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O).

O tratamento do mineral silvinita tem como objetivo separar o cloreto de potássio (KCl) do cloreto de sódio (NaCl) e outros minérios existentes na composição. São necessárias operações unitárias como: britagem, moagem, flotação, centrifugação, secagem e compactação. O processo inicialmente por via seca e após adição de salmoura saturada de NaCl torna-se por via úmida. O equilíbrio químico da salmoura (ver tabela 2) é primordial para desempenho do processo de algumas operações do processo.

Tabela 2 – Características da salmoura.

VARIÁVEIS	MAGNITUDE
Massa específica	1.230 kg/m <sup>3</sup>
Concentração de NaCl	19,00%
Concentração de KCl	11,60%
Concentração de MgCl <sub>2</sub>	1,60%
Viscosidade dinâmica	1,5 cP (a 40 °C)
	2,8 cP (a 23 °C)

Fonte: [Leal Filho et al, 2005]

O minério após lavrado alimenta a Usina através da britagem para reduzir a sua granulometria; depois de adicionado salmoura o minério passa pela moagem diminuindo ainda mais sua granulometria; a polpa de minério é classificada por meio de peneiras; separados da lama por hidrosseparadores; são extraídas as partículas de potássio através da flotação, com adição de reagentes químicos e aeração; a polpa de KCl é centrifugada e obtido potássio com umidade de aproximadamente 5%. A operação de secagem é feita por forno com leito fluidizado, com o objetivo de reduzir a umidade do potássio aproximadamente 0,5%. Cerca de 15% do produto é comercializado desta forma. Os 85% restantes são enviados para ser compactado, após britado e classificado via peneiras é obtido cloreto de potássio tipo granulado, que é estocado em um galpão para expedição posterior.

#### **2.1.2.1 britagem e moagem**

Para reduzir o minério proveniente para granulometria ideal são efetuadas duas operações a britagem e a moagem. Na britagem duas linhas com um britador de impacto e duas peneiras vibratórias trabalham em paralelo para reduzir 500 ton/h com granulometria de aproximadamente 10 polegadas (254mm) para 1 polegada (25,4mm) . Esta operação é feita a seco.

O minério oriundo da mina alimenta o britador de impacto com abertura entre barras com 1/2 polegada, este produto alimenta via correias transportadoras uma peneira vibratória. O material não passante é descarregado (*oversize*) na peneira retornando para o britador, criando uma carga circulante que deve ser monitorada, com o propósito de detectar anomalias no britador. O material passante na peneira (*undersize*) é enviado para moagem.

Na segunda etapa de redução granulométrica a moagem, é adicionado a salmoura saturada de NaCl e KCl que constitui o líquido de processamento mineral. Quatro moinhos de barras operam para processar juntos 435t/h, com o objetivo de reduzir o tamanho da partícula mineral  $\leq 1$  polegada para 1,2mm. São efetuadas operações de peneiramento estáticas para garantir a granulometria acima.

#### **2.1.2.2 flotação e centrifugação**

A operação de flotação deve ser eficiente para que haja a seletividade ou seja, a separação através da adição de reagentes coletores, depressores, modificadores e estabilizantes. O coletor (acetato de amina hidrogenada) adere às

partículas de KCl separando-as do meio líquido. O depressor (amido de milho ou mandioca) adere às partículas de NaCl, tornando-as mais ligadas ao meio líquido. O modificador (hidróxido de sódio) controla o pH ideal (5 a 6) e o estabilizante (metil-isobutil-carbinol) assegura a estabilidade das bolhas. A aeração criada através de agitadores que acumulam a função de manter a polpa em suspensão e homogênea, facilitando os contatos entre reagentes, partículas, bolhas e salmoura. O cloreto de potássio flotado segue para centrifugação, onde operam cinco centrífugas que através do processo rotação e compressão em telas, promovem a separação da salmoura do cloreto de potássio que descarregado com umidade média de 5%.

### **2.1.2.3 secagem**

O cloreto de potássio oriundo da centrifugação com umidade média 5%, é secado utilizando um forno estático de leito fluidizado (leito formado pelo próprio concentrado), a secagem se dá pela geração de vapor quente através do minério, vapor este gerado pela queima de gás natural.

O produto das centrífugas alimenta a secagem por meio de roscas helicoidais que fornecem impulso ao potássio úmido que é lançado de forma distribuída sobre o leito fluidizado. O minério é então exposto ao vapor que troca calor com o mesmo, secando-o. O concentrado seco é enviado para a etapa de compactação para formação do granulado ou destinado ao galpão de estocagem. O vapor, contendo particulados finos de minério é ciclonado e enviado para o lavador de gases, onde é lavado e toda partícula fina é dissolvida e enviada de volta para o circuito de concentração em forma de salmoura de processo.

### **2.1.2.4 compactação**

Para ser misturado com o nitrogênio e fósforo, formando a mistura (mistura NPK), o KCl precisa ser granulado entre 1 e 4mm. Para isso, é preciso compactá-lo, pois sua granulometria até esta etapa é inferior a 1,2mm. Compactar significa agregar as partículas através de pressão, formando uma placa com densidade próxima à densidade natural do minério para depois quebrá-la e peneirá-la, objetivando enquadrar os grãos formados na faixa de especificação do mercado (entre 1 e 4mm). O produto seco alimenta cinco linhas de compactação (capacidade nominal de 22t/h por linha). Cada linha é formada por um compactador, dois britadores (primário e secundário) e quatro peneiras eletromagnéticas (2 primárias e

2 secundárias). O minério passa pelos rolos compactadores onde é formada uma placa. A placa é britada (britador primário) e enviada para o peneiramento primário (malha de 4mm). O passante alimenta as peneiras secundárias e o retido é direcionado para o britador secundário cujo produto retorna para o peneiramento primário, fechando circuito. O produto das peneiras secundárias (malha de 2mm) é o material retido em sua tela, pois está entre 2 e 4mm, o material passante, retorna para a carga circulante que alimentará novamente os rolos compactadores.

O produto granulado segue para o galpão de estocagem e onde fica armazenado até o carregamento de caminhões que transportam o cloreto de potássio para o cliente.

#### **2.1.2.5 filtragem**

Todo tratamento mineral gera o mineral de ganga (rejeito). O rejeito do processo de flotação é uma polpa de cloreto de sódio contendo aproximadamente 40% de sólidos. O líquido da polpa é salmoura saturada e deve ser recuperada. Para minimizar a perda de salmoura que contém 11% de KCl, a polpa é filtrada em filtro de esteira e a salmoura recuperada é reutilizada como líquido de processamento mineral. Perda de salmoura, ou seja, descarte de rejeito com alto teor de umidade, implica em altas perdas na recuperação mineral.

A polpa proveniente do rejeito da flotação, é bombeada para uma bateria de hidrociclones. Os hidrociclones deságuam o material até a faixa de 60% de sólidos e alimentam um filtro de esteira a vácuo. Nele, a salmoura é succionada e bombeada de volta para concentração para compor o estoque de salmoura de processo, enquanto a torta de rejeito final contendo aproximadamente 93% de sólidos, é encaminhada para descarte após a dissolução.

#### **2.1.2.6 salmouroduto**

A salmoura saturada na etapa de dissolução será bombeada, através de tubulações (salmouroduto), até o mar, e tem a extensão de 37 km, sendo 2 km de emissário submarino. O bombeamento é feito por três bombas localizadas na usina e mais duas bombas localizadas a cerca de 28 km da usina. A vazão de bombeamento é de aproximadamente 1200m<sup>3</sup>/h.

## 2.2 Histórico da Manutenção

Na visão industrial manutenção são todas as ações direcionadas para assegurar o patrimônio físico da empresa como também sua condição operacional. Estas ações podem ser administrativas ou técnicas específicas com a finalidade de conservar ou restituir a um ativo as condições ideais para realização das suas funções iniciais ou aperfeiçoá-las

Segundo (SIQUEIRA, 2005) a história da manutenção pode ser dividida em três gerações: Primeira geração (Mecanização) manutenção corretiva sendo baseada na correção dos defeitos quando ocorressem e estende-se até 1950; Segunda geração (Industrialização) sendo implantada a manutenção preventiva em 1945 baseada no tempo de uso do equipamento e manutenção preditiva ocorre em 1950 devido ao desenvolvimento tecnológico implantou-se técnicas de detecção de defeitos antes de ocorrer a falha; Terceira geração (Automatização) são implementadas as manutenções produtiva em 1970 e da confiabilidade em 1975 onde as técnicas anteriores não faziam frente às exigências devido a automação e a produção em larga escala.

Segundo (NETO, 1992), desde a Primeira Guerra Mundial podem ser destacadas cinco fases de mudanças organizacionais com reflexos na manutenção. Na primeira fase, entre os anos de 1914 e 1930, surge a Manutenção Corretiva, esta com nível hierárquico organizacional bem baixo. Nesta fase a falha dos equipamentos não era alta prioridade para a maioria dos gerentes, ou seja, a necessidade por Manutenção Preventiva não era essencial. A Manutenção Corretiva é o método de manutenção caracterizado pela intervenção no ativo da empresa quando há uma falha, deixando de cumprir a sua função. O aparecimento da Manutenção Preventiva baseada no tempo de uso se deu na segunda fase, entre os anos de 1930 e 1947. O nível da manutenção já se equipara ao da produção, dentro do organograma da empresa. A Manutenção Preventiva caracteriza-se pela intervenção, antes que o equipamento venha a falhar.

Com a Segunda Guerra, tomam posição de destaque na indústria os órgãos de apoio à manutenção, tais como a Engenharia de Manutenção, a Programação e o Controle da Manutenção, impulsionado pela carência de mão de obra, pelo conseqüente crescimento da mecanização industrial e pela multiplicação da demanda de mercadorias. É a terceira fase, e se encerra em 1960.



Na quarta fase a expansão internacional de empresas aliada ao advento do computador obrigaram a Manutenção e seus órgãos de apoio a utilizarem processos sofisticados de controle. Nesta fase é evidenciada também a necessidade da profissionalização gerencial. A quinta fase, iniciando a partir de 1973, evidencia a passagem da manutenção do estágio da preventiva baseada no tempo para a preventiva fundamentada na performance e preditiva onde são aplicadas técnicas em que são detectados defeitos antes do aparecimento das falhas são utilizados métodos que forneçam o diagnóstico preliminar das grandezas físicas relacionadas com o equipamento .

As mudanças que vêm ocorrendo nas organizações industriais, notadamente nas últimas décadas, com o rápido aumento do número e diversidade dos itens, projetos mais complexos, novos enfoques sobre a organização da manutenção, dentre outros, têm implicado também em grandes transformações no sistema de manutenção. Conforme (PINTO e XAVIER, 1998), nos últimos 20 anos a atividade de manutenção tem passado por mais mudanças do que qualquer outra.

Conforme (TAVARES, 2005) a manutenção dividiu-se em quatro fases distintas de acordo com os métodos utilizados e cada uma determinou uma evolução para o desempenho dos equipamentos a figura 1 reflete a contribuição dos métodos.

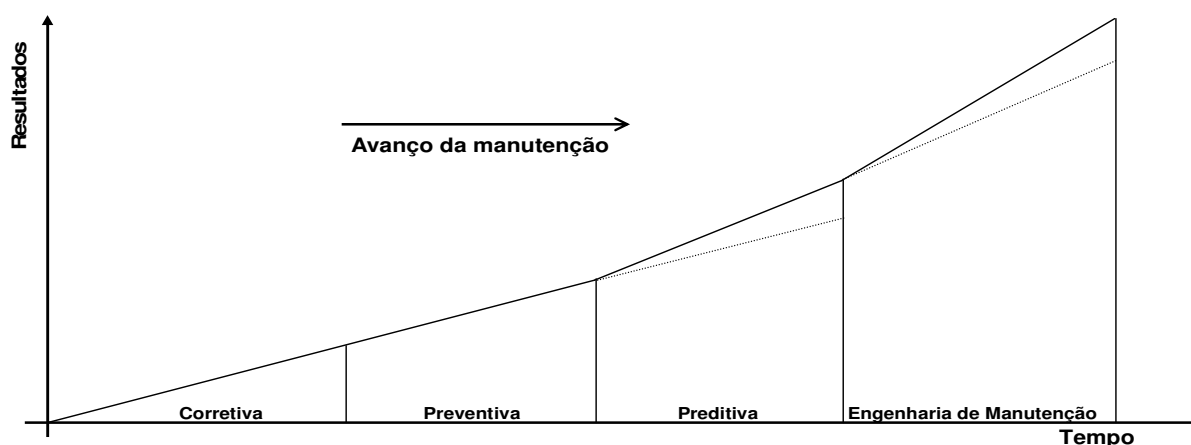


Figura 1 Evolução da manutenção e seus resultados:  
Fonte adaptado de Pinto e Xavier (1999).

## 2.3 Tipos de Manutenção

De acordo com (SIQUEIRA, 2005) de um modo geral a manutenção é classificada de acordo com a forma de programação e o objetivo das tarefas.

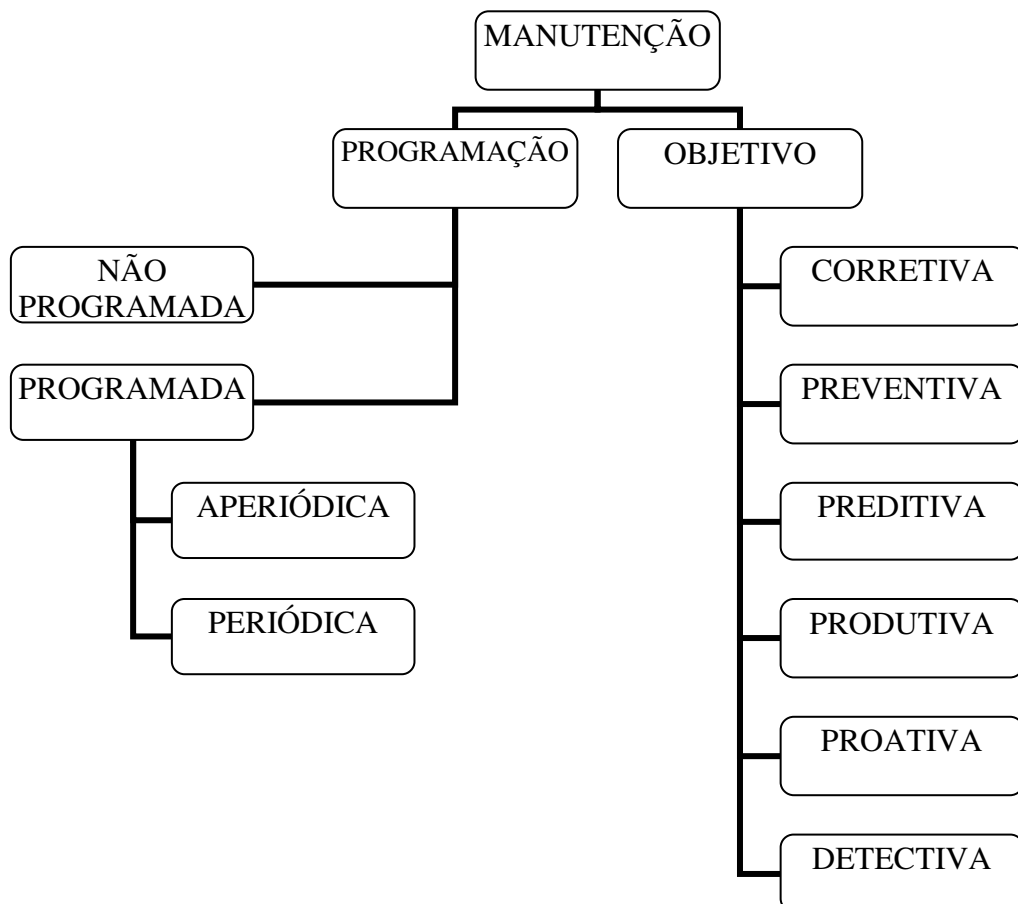


Figura 2 Classificação da Manutenção.

### 2.3.2 Manutenção corretiva

Manutenção Corretiva é a mais simples, adotando a prática corrigir a falha após acontecer, ou seja, restaurar o ativo colocando-o em operação para desenvolver a sua função. É a que possui custos mais elevados devido à extensão dos danos e o tempo para correção é maior por falta de recursos (mão-de-obra, peças e equipamentos de apoio), Para (PINTO E XAVIER,1998) existe também a manutenção corretiva planejada que é a interferência no equipamento quando ele quebra ou tem desempenho inferior e, por decisão gerencial. Deixa-se de intervir em determinado ativo, mesmo com a possibilidade de falha e perda de eficiência,

para aguardar peças sobressalentes, melhor planejamento dos serviços e negociação de parada com a produção. Na Figura 03 é demonstrado o comportamento da manutenção corretiva de acordo com Pinto e Xavier (1998).

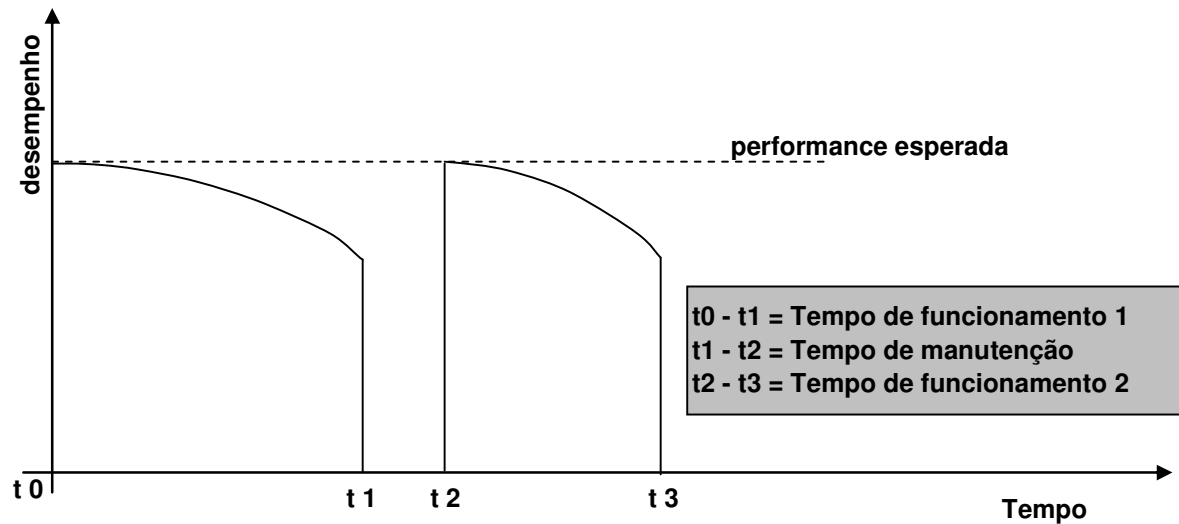


Figura 3 – Comportamento do ciclo da manutenção corretiva

### 2.3.2 Manutenção preventiva

Manutenção preventiva estabelece uma previsão de quebra, tendo como base o estudo e a análise das causas que ocorrem durante a manutenção corretiva, bem como a experiência dos fornecedores de peças e equipamentos.

A efetivação das tarefas preventivas realizadas de forma a minimizar ou bloquear a falha ou ainda impedir a redução na eficiência solicitada para o equipamento. Executar um plano de manutenção previamente definido e baseado em intervalos de tempos predefinidos é a prioridade neste tipo de método afirma (PINTO e XAVIER, 1998).

A Figura 04 ilustra um ciclo manutenção preventiva relacionando desempenho versus tempo, neste são demonstrados os tempos fixos para a realização das manutenções preventiva destacados no intervalo de tempos  $t_1$  a  $t_2$  e  $t_3$  a  $t_4$  e os intervalos de tempos entre estas,  $t_0$  a  $t_1$  e  $t_2$  a  $t_3$  e assim por diante. Continuando com a análise do gráfico, identifica-se que o fato da preventiva esta implantada não elimina as manutenções corretivas, na sua totalidade.

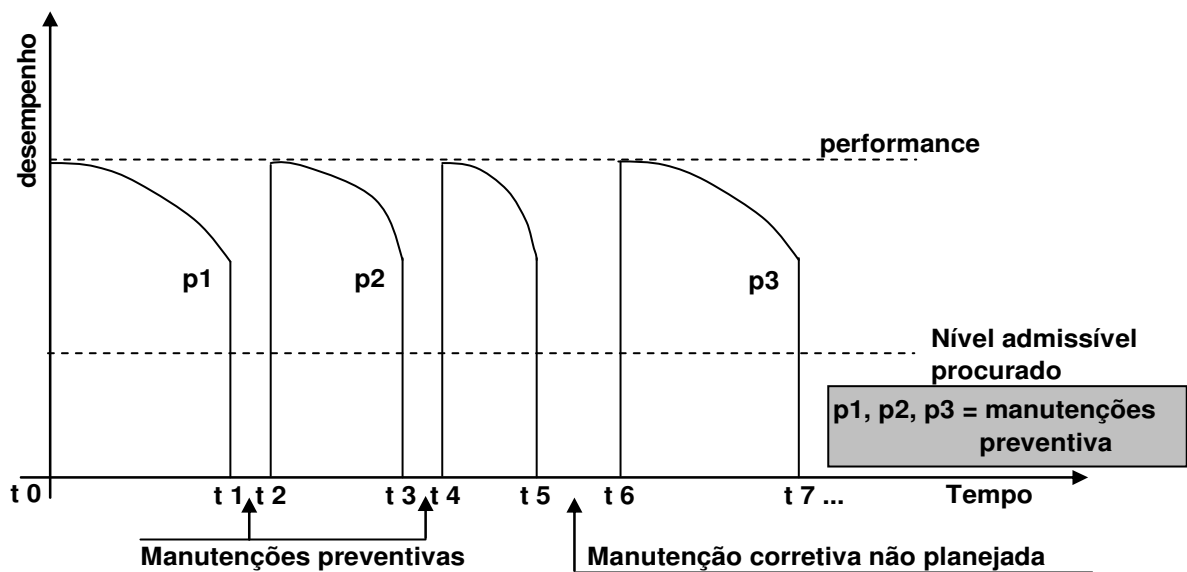


Figura 4 – Comportamento do ciclo da manutenção preventiva

### 2.3.3 Manutenção preditiva

Manutenção preditiva relaciona-se às atividades a qual se caracteriza pela detecção das condições dos componentes dos ativos, utilizando técnicas que coletam sinais dos equipamentos. A sua estratégia, de acordo com (REIS E PATI 2000), é fazer com que a deterioração do equipamento seja previsível e possibilite o planejamento adequado (NEPOMUCENO, 1989) cita técnicas preditivas, dentre as mais utilizadas em função das características dos equipamentos são: Análise de vibração, ferrografia (análise de lubrificante), termografia, emissão acústica, ensaio com líquido penetrante, ensaio com partículas magnéticas, inspeção por ultra-som, ensaio e controle de corrente parasita e outras.

A manutenção preditiva conforme (NEPOMUCENO, 1989) é inicialmente dispendioso porém após sua efetivação são inúmeros os benefícios, que vão da diminuição no estoque de peças de reposição até a eliminação de equipamentos reservas. As técnicas mais utilizadas e difundidas devido ao seu custo x benefício são: Análise de vibração, termografia, inspeção por ultra-som e termografia (análise de lubrificante).

### 2.3.4 Manutenção detectiva

Manutenção detectiva é aplicado em um sistema ou processo que utiliza componentes no qual não é possível detectar falhas antes de elas ocorrerem. Nela, busca-se identificar e eliminar anomalias ocultas através de testes periódicos no sistema. (GERAGHETY, 2000 e PINTO E XAVIER, 1998). O teste do componente de um sistema, a checagem através de testes pré-estabelecidos dos elementos de um equipamento e teste do próprio equipamento nas condições em que possa ser avaliados

### 2.3.5 Manutenção produtiva e proativa.

As manutenções produtiva e a proativa se confundem dentro da engenharia de manutenção, pois a primeira tem o objetivo de melhorar a utilização e produtividade dos equipamentos e a segunda utiliza as experiências aplicadas nestes equipamentos para melhorar de maneira proativa, antecipando aos acontecimentos, o processo produtivo.

## 2.4 Análise de Vibração.

As vibrações embora sejam ligadas aos movimentos ondulatórios mecânicos, condições semelhantes ocorrem em outras áreas como em eletricidade, eletromagnetismo e acústica.

As vibração mecânica podem ocorrer por forças cuja magnitude, direção ou ponto de aplicação variam no tempo. Para ocorrer a vibração são necessários no mínimo dois elementos: uma mola para armazenar energia potencial e uma massa que armazena energia cinética. O armazenamento de energia em um dos elementos permite gerar amplitudes de movimento desastrosas mesmo originadas de forças relativamente pequenas.

Citado por (ZILL E CULLEN, 2003) na lei de Hooke<sup>1</sup> a mola exerce uma força restauradora  $F$  oposta à direção do alongamento e proporcional a distensão  $s$ , enunciada  $F = ks$ , em que  $k$  é uma constante de proporcionalidade como mostra a figura 5.

---

<sup>1</sup> Robert Hooke (1635 – 1703) Físico e inventor inglês, Hooke publicou essa lei em 1658

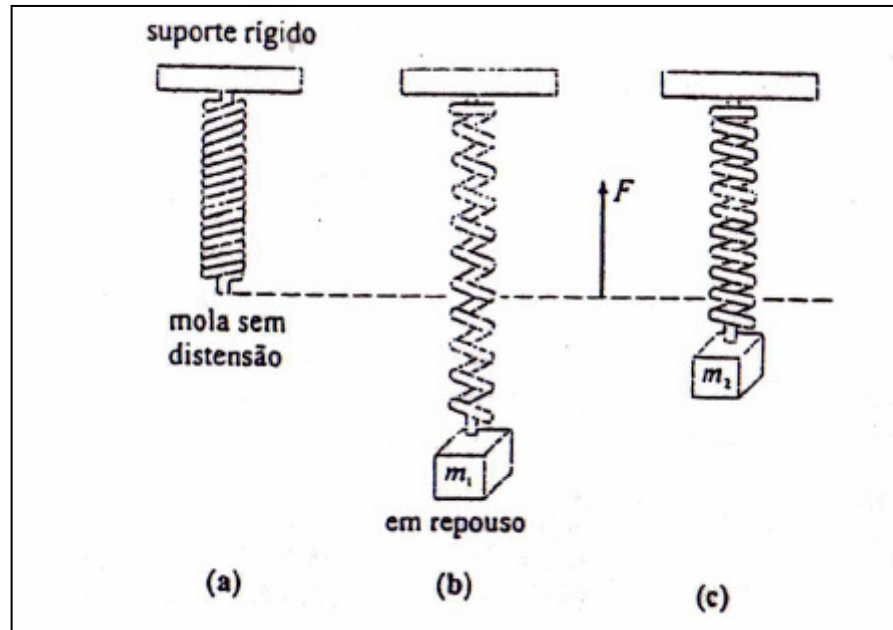


Figura 5 – Representação prática da Lei de Hooke

Aplicando a segunda Lei de Newton, após fixar uma massa  $m$  a uma mola, ela provoca uma distensão  $s$  na mola e atinge sua posição de equilíbrio na qual o peso  $W = mg$  ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ) é igual à força restauradora  $ks$ . Caso a massa estiver deslocada por uma quantidade  $x$  de sua posição de equilíbrio e for solta, a força resultante nesse de dinâmica é dada a segunda lei de Newton  $F = ma$  em que  $a$  é a aceleração  $d^2x / dt^2$ . Sem outras forças agindo sobre o sistema ( movimento livre) Figura 6.

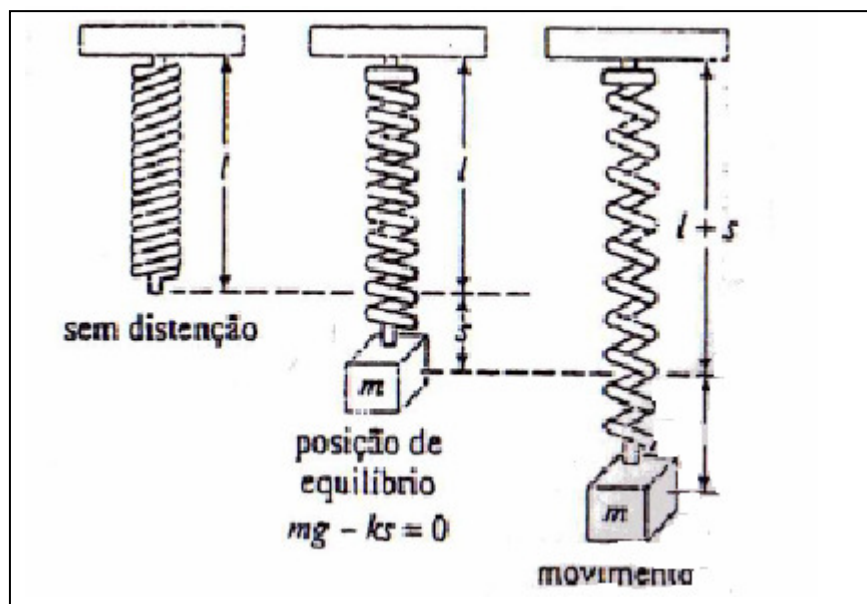


Figura 6 – Interação da Lei de Hooke e segunda Lei de Newton

Uma propriedade importante do movimento oscilatório é a frequência, ou número de oscilações que são completadas a cada segundo. O símbolo para frequência é  $f$  e sua unidade na S.I.<sup>2</sup> é o hertz (abreviado como Hz).

A quantidade positiva cujo valor depende de como o movimento foi iniciado é chamado de amplitude do movimento e suas unidades são representadas conforme figura 7.

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{deslocamento}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (\text{velocidade angular}) \dots\dots\dots (2)$$

$$v(t) = -\omega x_m \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (\text{velocidade}) \dots\dots\dots (3)$$

$$a(t) = -\omega^2 x_m \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{aceleração}) \dots\dots\dots (4)$$

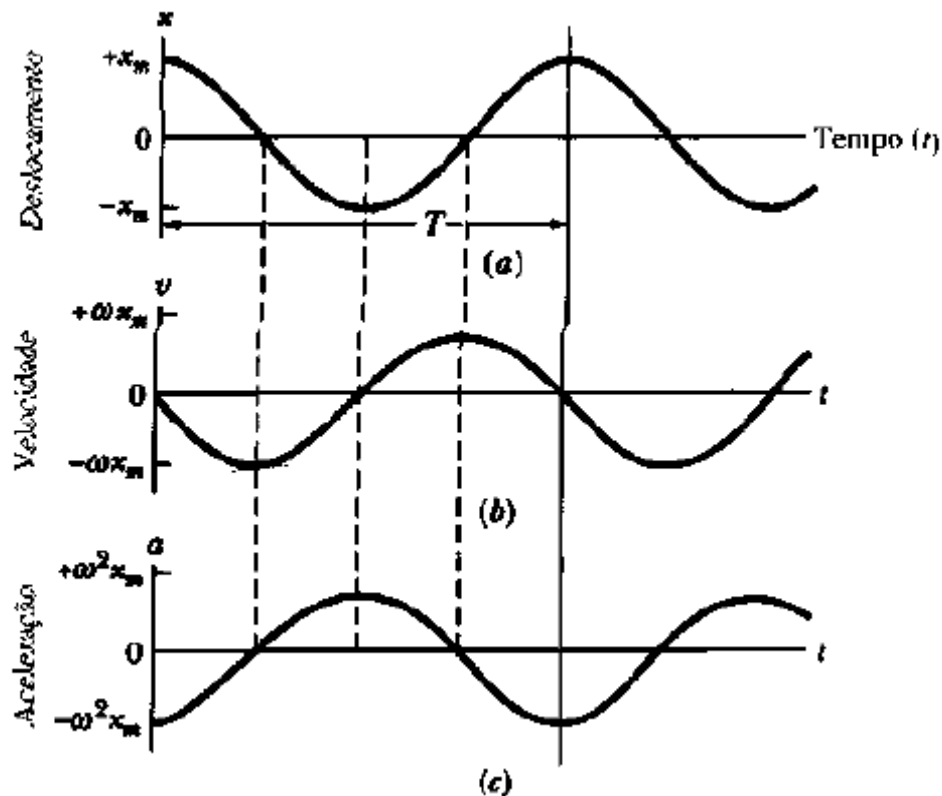


Figura 7 – Representação do deslocamento de uma partícula em MHS

<sup>2</sup> S.I The International System of Units

Os sistemas mecânicos apresentam três componentes básicos: mola  $K$  (rigidez), amortecedor  $C$  (dissipação de energia) e massa  $M$  (inércia). Quando cada componente é submetido a uma força constante reage com um deslocamento constante, uma velocidade constante e uma aceleração constante, respectivamente como mostra a figura 8.

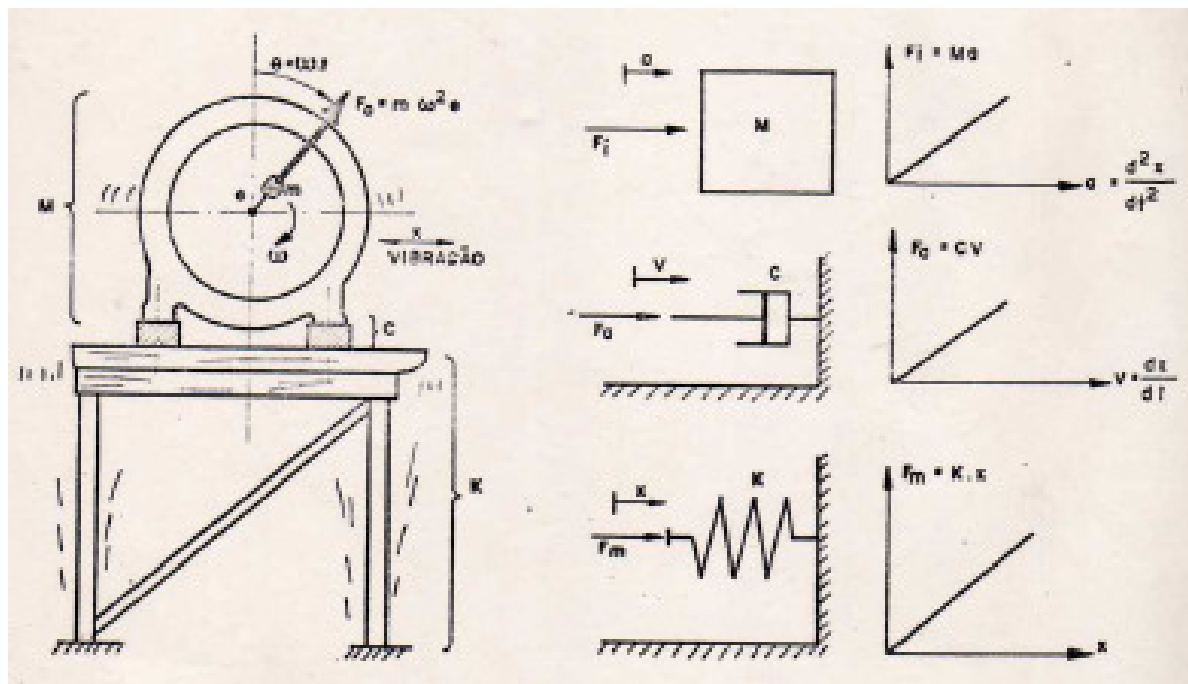


Figura 8 – Representação do MHS nos sistemas mecânicos.

Quando o sistema (teórico) é colocado em movimento ele continuará nesta condição com amplitude e frequência constantes. Um sistema constituído de apenas uma massa, uma mola e um amortecedor é chamado com um grau de liberdade, caso o sistema mecânico apresente um grande número de massas ligadas por molas e amortecedores, e ele possa mover-se em mais de uma direção é chamado de sistema com múltiplos graus de liberdade que geram varias ondas senoidais com frequências e amplitudes variadas. Estas ondas são transformadas em gráficos no domínio de tempo e sua análise é muito difícil como podemos perceber na figura 9. É aplicado uma transformação matemática a FFT (Fast Fourier Transformed).

Um sinal qualquer  $x(t)$ , em função do tempo, pode ser descrito em função de suas componentes de frequências pelo chamado de Espectro de Frequência do



Sinal. Matematicamente, esta transposição do sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência corresponde à transformada de Fourier, e é conseguida pela equação:

$$X(f) = \int x(t)e^{-j2\pi ft} dt \dots\dots\dots (5)$$

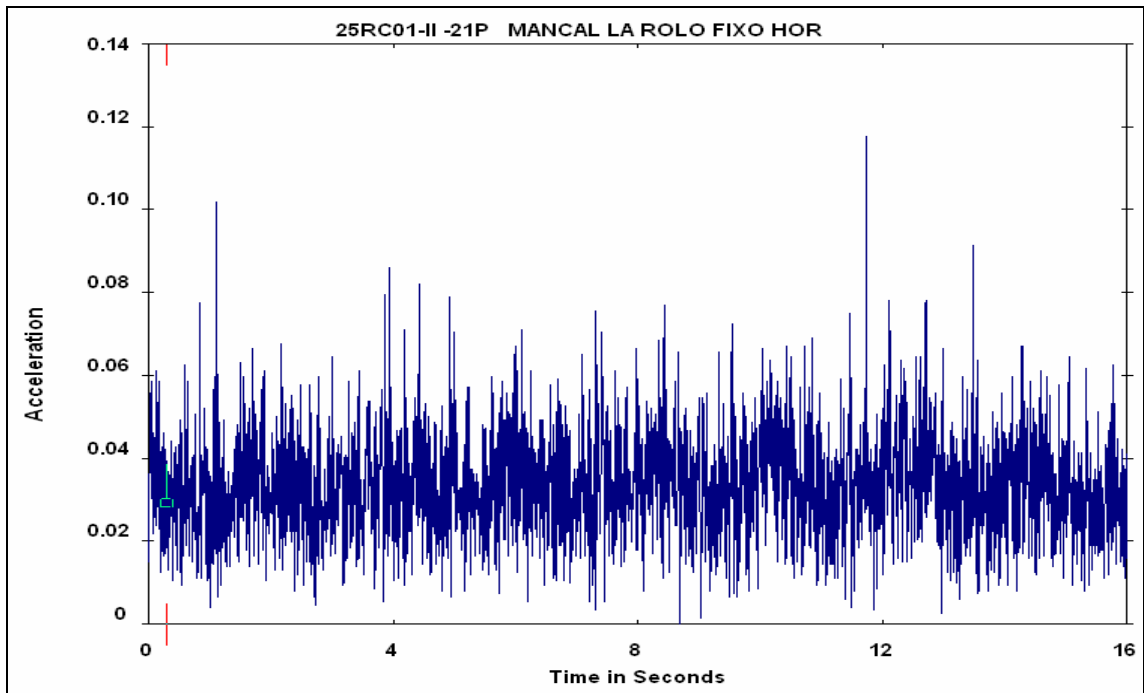


Figura 9 - Gráfico no domínio do tempo.

O gráfico amplitude x tempo é transformado e plotado num gráfico de amplitude x frequência. Quando analisamos este gráfico da vibração emitida pelo equipamento encontramos certo número de componentes de frequências, as quais estão diretamente relacionadas aos movimentos fundamentais das várias partes da máquina. A decomposição dos sinais de vibração em componentes individuais na frequência é chamada de análise de frequência de vibração observada na figura 10, essa técnica é fundamental para detecção de defeitos antes que o equipamento venha falhar.

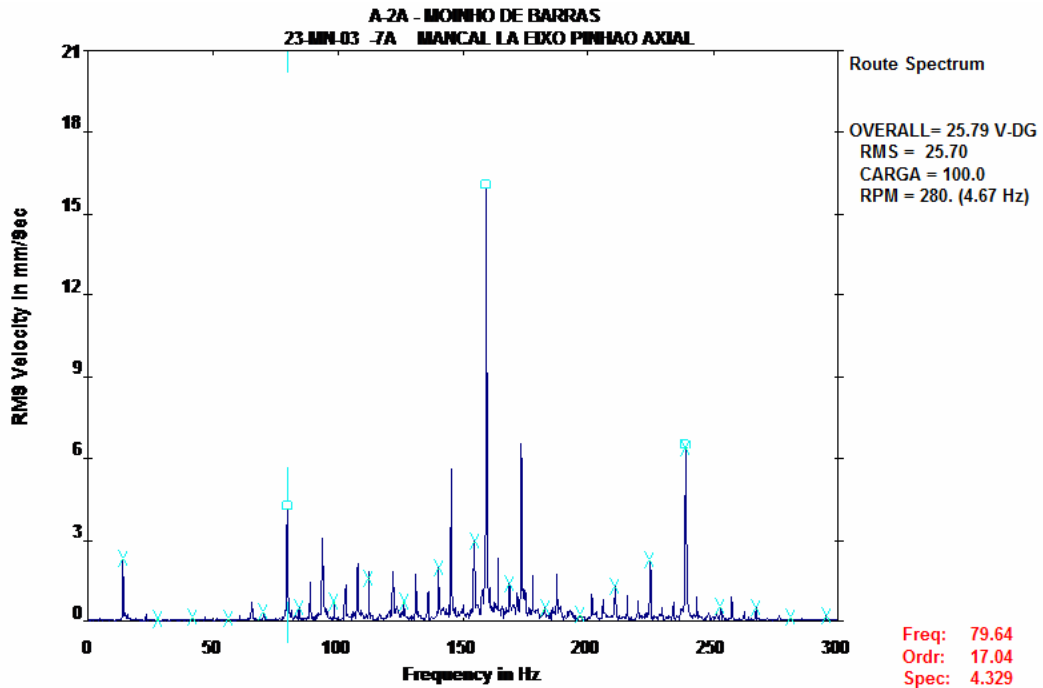


Figura 10 - Gráfico no domínio da frequência.

## 2.5 Termografia.

A variável temperatura é definida como a energia cinética média dos átomos ou moléculas de uma substância e suas unidades podem ser o grau Centígrado, grau Fahrenheit e o Kelvin. Quando existir uma diferença de temperaturas no interior de um sistema acontecerá a transferência dessa energia no sentido das temperaturas mais altas para as mais baixas. A energia em trânsito é chamada de calor e o processo de transporte é definido como transmissão de calor. Segundo (HOLLIDAY, RESNICK E WALKER, 2007) Esta transmissão acontece por três mecanismos básicos: Condução, Convecção e Radiação.

Condução é a transferência de energia entre partes adjacentes de um sólido em consequência da existência de uma diferença de temperatura no mesmo. Na condução o calor se transfere a camadas sucessivas do material através da difusão da energia cinética média das moléculas. Essa energia é maior nas regiões mais quentes e menor nas mais frias. A condutibilidade térmica é o parâmetro que determina a maior ou menor capacidade de um material conduzir calor.

Convecção é um processo de transmissão de calor por condução e movimentação de massa, característico dos fluidos. O calor é transferido de uma

região para outra devido a variação de densidade decorrentes da presença de gradientes térmicos. A convecção pode ser natural ou forçada, neste último caso, quando estimulada pela ação do vento, de um ventilador ou de uma bomba.

Radiação é a transferência de calor através de ondas eletromagnéticas. Todos os corpos emitem naturalmente radiação eletromagnética em função de temperatura absoluta de acordo com a lei de Stefan-Boltzmann e desta forma podem trocar calor sem qualquer contato físico, mesmo no vácuo. A maior ou menor capacidade do corpo em emitir radiação eletromagnética é dada pela sua emissividade, parâmetro que pode variar entre 0 e 1.

O ramo de ciência que trata de medição de temperaturas é a Termometria. A termometria se divide em duas áreas de acordo com princípio de medição empregado: Medição de Contato e Radiometria.

Na medição de contato busca-se obtenção de um perfeito equilíbrio térmico entre o sensor e o meio medido. Tal equilíbrio é alcançado principalmente pelos mecanismos de condução e convecção.

A radiometria, por outro lado, se enquadra nas técnicas de sensoriamento remoto, onde as medições são realizadas por sensores que não estão em contato físico com os objetos sob estudo. A medição radiométrica de temperaturas se baseia na detecção de radiação eletromagnética naturalmente emitida pelos corpos em função de sua temperatura absoluta. A radiometria pode ser realizada nas faixas espectrais do ultravioleta, visível, infravermelho ou microondas e abranger grande número de técnicas dentre as quais a Termografia.

A termografia é genericamente definida como a técnica de sensoriamento remoto que possibilita a medição de temperaturas e a formação de imagens térmicas (termogramas), de um componente, equipamento ou processo, a partir da radiação infravermelha. Para tanto, são utilizados os Sistemas Infravermelhos, instrumentos que estendem a visão humana no campo do infravermelho, revelando fontes de calor e padrões de aquecimento, o que os torna uma importante ferramenta na indústria, medicina, pesquisa e no campo militar. De acordo com o equipamento empregado e o objetivo da observação a termografia pode ser classificada da seguinte forma:

Termografia qualitativa é o ramo da termografia na qual as informações obtidas sobre um componente, equipamento ou processo, provêm da análise de diferenças em padrões de distribuição térmica nos mesmos.

Termografia quantitativa é o ramo da termografia na qual as informações obtidas sobre um objeto, equipamento ou sistema, provêm da medição direta das temperaturas associadas aos padrões de distribuição térmica observada conforme mostra a figura 11.

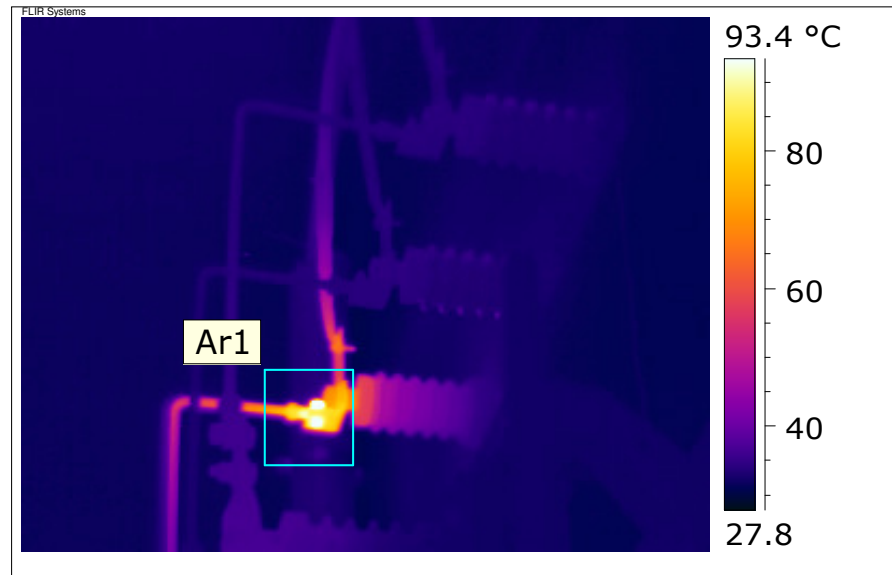


Figura 11 – Imagem térmica de uma rede elétrica.

## 2.6 Ultra Sonografia Industrial.

Conforme (HOLLIDAY, RESNICK E WALKER, 2007) ondas sonoras são ondas mecânicas que podem se propagar através de gases, líquidos ou sólidos. Essas ondas utilizadas de maneiras específicas podem ser empregadas em vários campos de atuação como medicina, indústria naval, geologia, manutenção preditiva e outros. Existem dois tipos de ondas em um sólido. As ondas transversais são perpendiculares à direção da propagação da onda e as longitudinais são paralelas à onda de propagação da onda.

O número de vibração das partículas na unidade de tempo informa se é gerado som audível, abaixo de 20.000 vibrações/s, e o ultra-som está acima deste valor. Esta faixa de 20.000 ciclos ou 20 kHz separa o ultra-som do som audível e foi fixada voluntariamente. Segundo (NEPOMUCENO, 1989) os ensaios ultra-sônicos de materiais, as frequências geralmente são mais altas, isto é, entre 0,25 e 15 MHz.

O movimento das partículas de massa na substância é propagado de uma certa maneira e direção. Resulta um trem de onda mecânica, seja como uma onda

longitudinal ou como uma onda transversal. Uma onda longitudinal é obtida quando em um corpo de ensaio, as partículas de massa próximas à superfície são impulsionadas perpendicularmente à mesma. O primeiro plano de partículas é defletido e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas. Se as interligações de todas as partículas fossem positivas todos os planos seriam defletidos ao mesmo tempo, isto é, seus movimentos estariam em fases iguais. Entretanto, desde que as partículas de massa estão interligadas elasticamente, os próximos planos de partículas de massa ficarão retardados de maneira que se interrompe o movimento em certo instante. As distâncias iguais existem compressões de planos de partículas de massa. Entre eles, encontram-se zonas diluídas com grandes distâncias entre os planos de partículas. Elas são designadas como comprimento da onda longitudinal. As zonas de compressão e de diluição movem-se através do corpo de prova com certa velocidade de onda longitudinal. Esta velocidade do som é uma constante de material, ou seja, ela difere para cada material no qual a onda se propaga, mostrado na tabela 3.

Tabela 3 – Velocidade do som em alguns meios

### **A Velocidade do Som**

<b>Meio</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
<b>Gases</b>	
Ar (0°)	331
Ar (20°)	343
Hélio	965
Hidrogênio	1.284
<b>Líquidos</b>	
Água (0°)	1.402
Água (20°)	1.482
Água do mar	1.522
<b>Sólidos</b>	
Alumínio	6.420
Aço	5.941
Granito	6.000

Conhecendo os tipos de ondas podem ser definidos os transmissores que emitem ondas ultra-sônicas de alta frequência. São utilizados os cristais piezoelétricos que têm como característica a mudança de sua forma toda vez que

ocorre uma diferença do potencial elétrico nos seus limites superficiais. O cristal de quartzo além de outras propriedades favoráveis tem esta qualidade. Dois eletrodos são colocados em uma placa de cristal de quartzo e aplicada uma voltagem AC (corrente alternada) a espessura da placa oscilará na frequência correspondente às alterações desta tensão. O cristal piezoelétrico é colocado em um suporte junto com um bloco amortecedor e um conector, este transmissor ultra sônico é chamado de transdutor. Ao ser acoplado no corpo de ensaio a onda ultra sônica se propaga no meio ideal em linha reta, ao incidir em um obstáculo ou descontinuidade no percurso, ocorrerá o fenômeno da difração, reflexão ou espalhamento. Quando o obstáculo ou descontinuidade é maior que o comprimento de onda tem-se a reflexão caso contrário poderá ocorrer os outros dois fenômenos.

Não existe necessidade de colocação do transdutor receptor na região posterior do corpo de ensaio, será medido a porção refletida da pressão sônica e não a porção emitida. Somente é possível uma medição precisa se o feixe de som emitido deixar de ser contínuo e passar a ser pulsos de som intermitentes. Desta forma o transdutor, inicialmente trabalha como emissor de um pulso sônico e após refletido o pulso retornado de uma interface, o transdutor funciona como receptor, agora transmitindo uma voltagem proporcional à altura do impulso ao instrumento de medição. Estes instrumentos transformam estas informações em dados digitais e gráficos que são analisados para detecção de defeitos de fabricação, trincas decorrentes de esforços mecânicos excessivos, defeitos de soldagem, tensões mecânicas e espessuras de peças e tubulações, como verificado na figura 12.

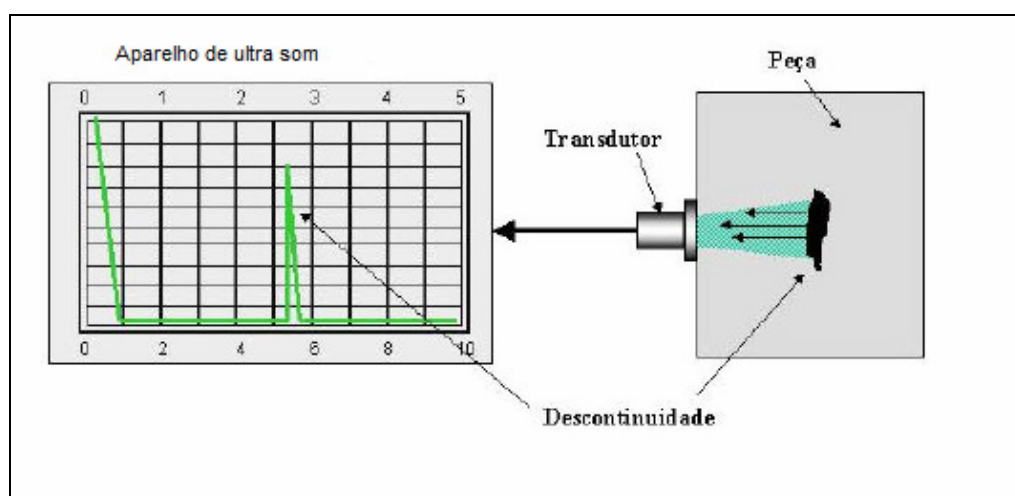


Figura 12 – Método básico do ensaio por ultra som

## 2.7 Ensaio com Líquido Penetrante.

Com o surgimento de produtos químicos mais sofisticados após a primeira guerra mundial, este método de inspeção foi reativado e atinge sua fase avançada durante a segunda guerra mundial. Devido a utilização da indústria aeronáutica de ligas não ferrosas, houve a necessidade de desenvolvimento de um método de detecção de defeitos superficiais, para materiais não magnéticos. Citado por (NEPOMUCENO, 1989) como rápido e seguro este método superou as expectativas iniciais e é utilizado até hoje.

Seu princípio de atuação é baseado na capacidade em que alguns líquidos possuem de penetrar em aberturas microscópicas. O processo está fundamentado na tensão superficial que é a força que existe na superfície de líquidos em repouso, devido às fortes ligações intermoleculares, e é ajudado por outro fenômeno chamado capilaridade. Quando um líquido é colocado em um tubo capilar (tubo muito fino), a atração entre as moléculas do líquido e as moléculas do material do tubo podem ser maiores ou menores do que a força de coesão interna do líquido, ocasionando assim a formação de uma concavidade ou uma convexidade na superfície do líquido como mostra a figura 13, forma que apenas pode ser obtida devido ao efeito de tensão superficial nos líquidos.

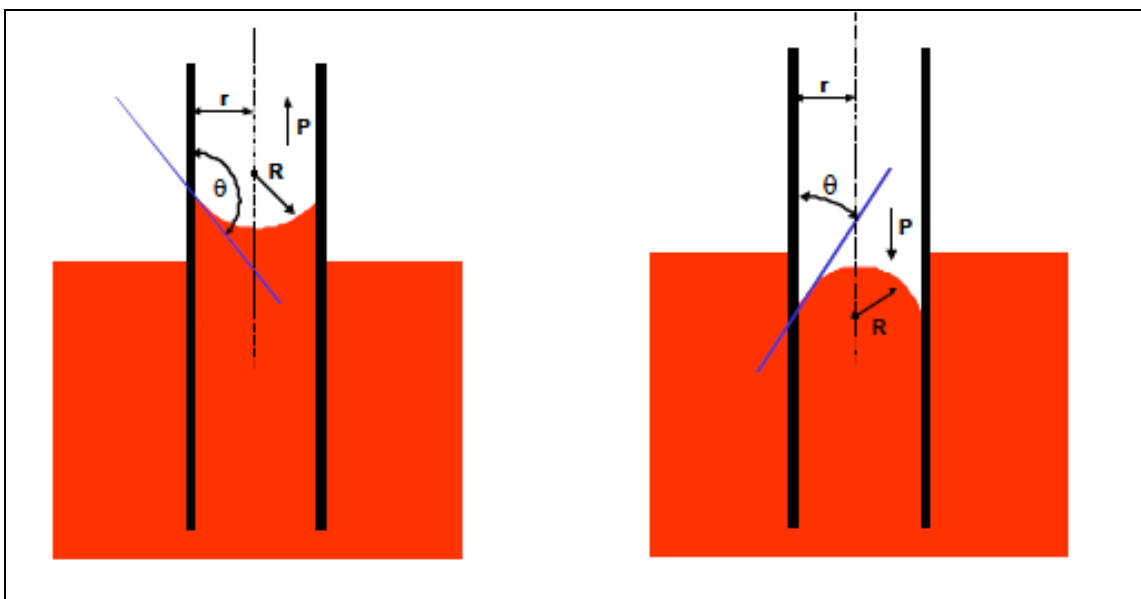


Figura 13 – Fenômeno da capilaridade dos líquidos.

O procedimento consiste em após a limpeza da área na peça a ser inspecionada é aplicado um líquido específico denominado penetrante, geralmente na cor vermelha ou fluorescente, e devido ao fenômeno capilaridade, este líquido penetra na descontinuidade superficial. Após um tempo para estabilização o excesso superficial é retirado e aplicado um produto chamado revelador, normalmente um pó branco fino, que absorve o líquido penetrante existente na descontinuidade revelando sua posição e forma.

A interpretação das marcas deixadas pelo ensaio depende da análise do técnico responsável, que avalia qual a função da peça inspecionada e o tipo de defeito encontrado.

Este método de inspeção é largamente utilizado na indústria de transformação como também em fábricas e empresas especializadas e em manutenção de equipamentos. Sua utilização é segura e fonte confiável de informação para tomada de decisões importantes de gerentes operacionais.

## **2.8 Rolamentos.**

São elementos de máquinas que permitem que eixos de equipamentos girem com baixo coeficiente de atrito, consumo de lubrificante reduzido e fácil reposição, em condições ideais sua manutenção é de baixo custo e sua normalização facilita a reposição em caso de necessidade de substituição. Conforme citado por (NIEMANN, 2004) um limite de aplicação é para cargas radiais com baixa rotação, porém com a evolução dos lubrificantes, que suportam pressões cada vez maiores, este limite está gradativamente menor. São constituídos por dois anéis que tem a função de apoios, elementos rolantes com formatos variados definidos de acordo com a aplicação e carga necessárias, e gaiolas que tem a função de manter os elementos rolantes equidistantes, para distribuição da carga e centralização dos anéis.

Os rolamentos são utilizados em equipamentos industriais e até em utensílios domésticos. Existem vários tipos de rolamentos e os mais utilizados são: rolamento rígido de esfera, rolamento de esfera de contato angular ver figura 14, rolamento de rolos cilíndricos ver figura 15, rolamento autocompensador de esfera ver figura 16, rolamento autocompensador de rolos ver figura 17, rolamentos de



rolos cônicos ver figura 18, rolamentos axiais de rolos cilíndricos ver figura 19 e rolamentos de agulhas ver figura 20. Podem ser utilizados em um mesmo equipamento vários tipos aproveitando as características de capacidade e sentido de absorção da carga, que podem ser radial, axial ou conjugadas.

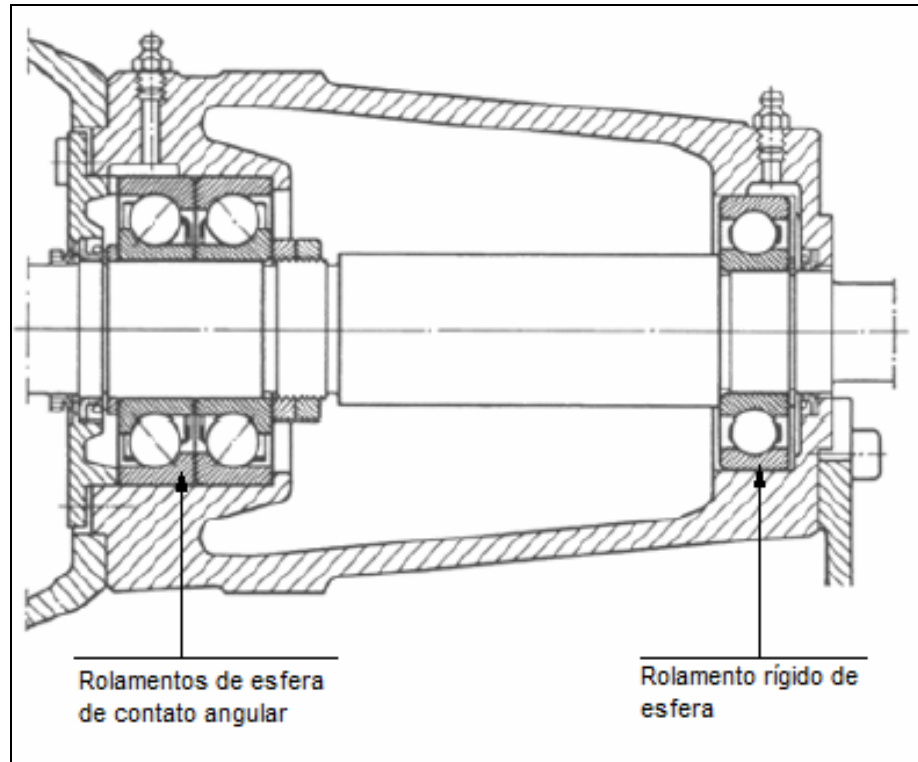


Figura 14 – Rolamentos de esfera de contato angular e rígido de esfera.

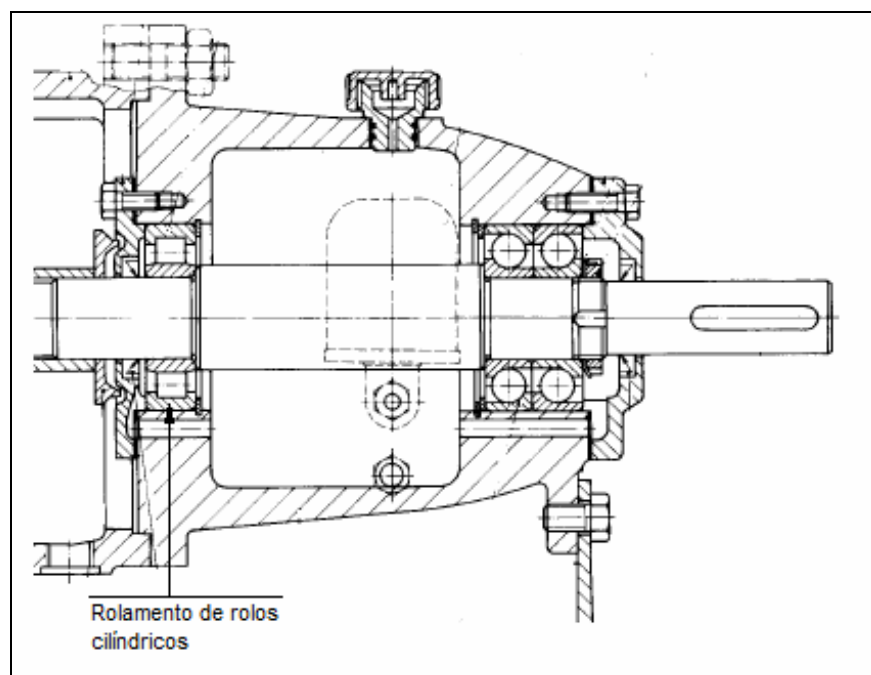


Figura 15 – Rolamento de rolos cilíndricos

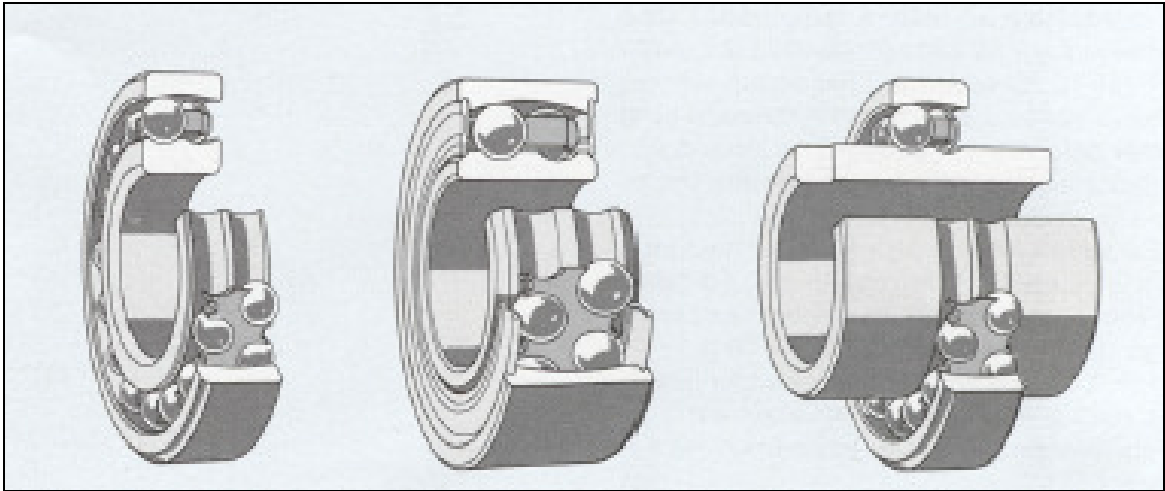


Figura 16 – Rolamentos autocompensadores de esfera.

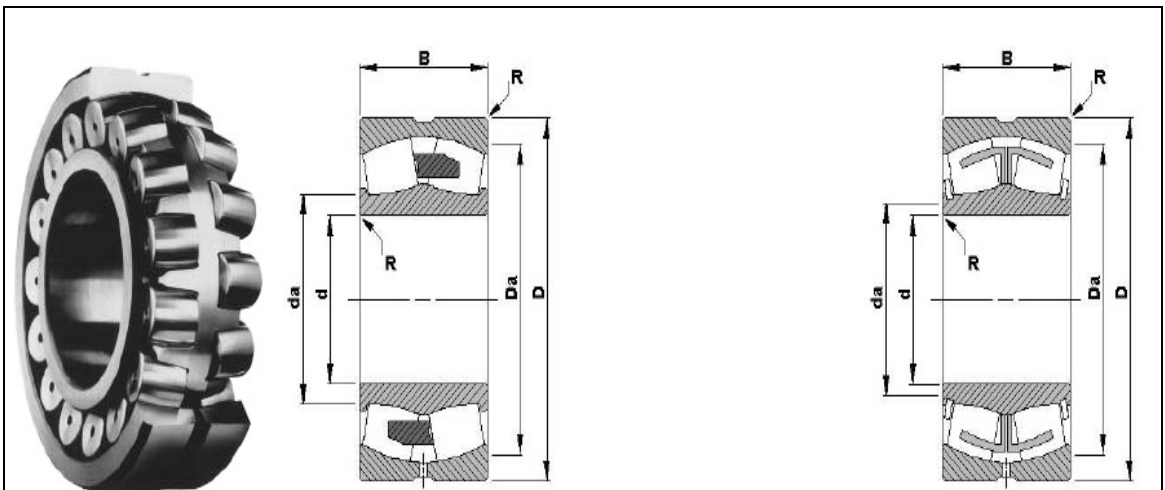


Figura 17 – Rolamento autocompensador de rolos.

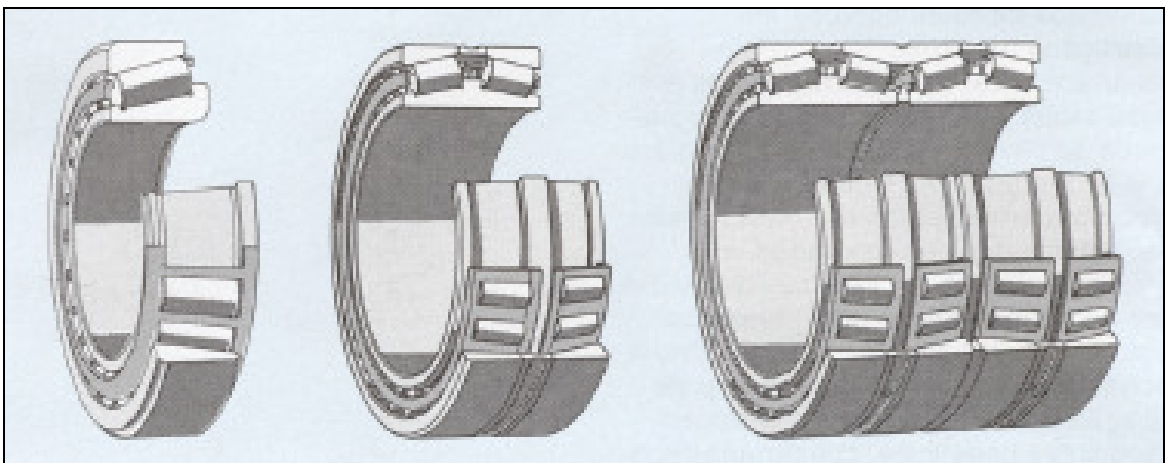


Figura 18 – Rolamentos de rolos cônicos.

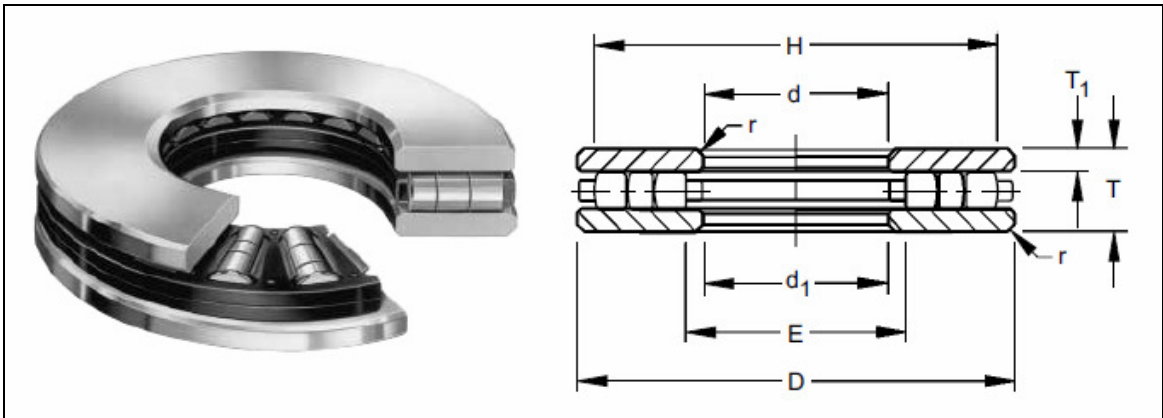


Figura 19 – Rolamento axial de rolos.

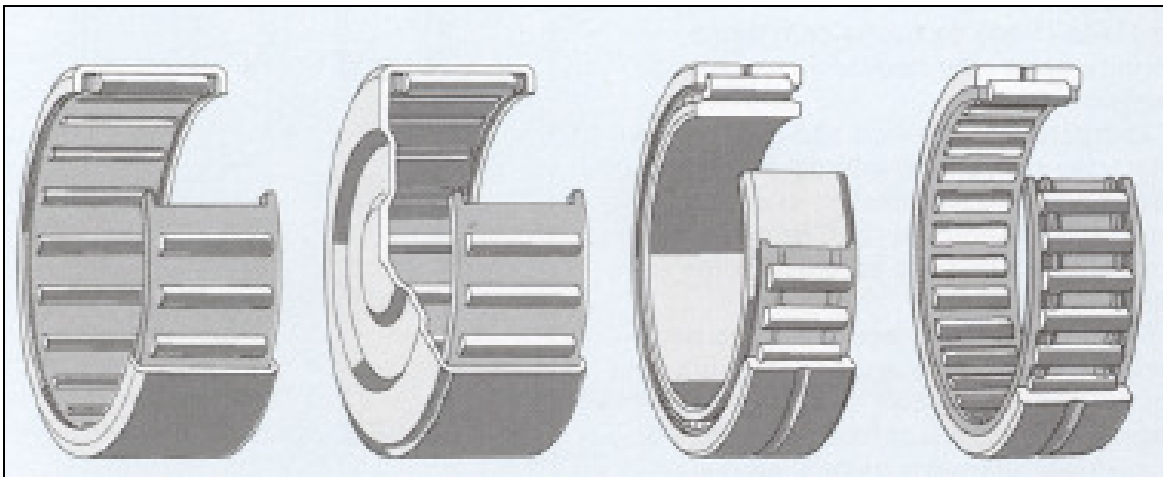


Figura 20 – Rolamentos de agulhas.

Os rolamentos são peças fundamentais na maioria dos equipamentos de produção das empresas. O domínio e cuidados sobre estes elementos são de extrema responsabilidade, pois os benefícios que eles nos trazem podem se transformar em grandes prejuízos.

## 2.9 Ferramentas da Qualidade Total.

Na década de 50 surgiram estudiosos que criaram ferramentas de qualidade que auxiliaram o gerenciamento de processos dando início a uma reforma no modo de trabalho nos seus empreendimentos. Criado por Walter Shewhart o Controle Estatístico de Processo é uma das ferramentas mais utilizadas no controle de qualidade até hoje, segundo (Carvalho e Paladini, 2005) Walter Shewhart foi o pai do controle estatístico da qualidade. Algumas ferramentas de qualidade são utilizadas diariamente e são fundamentais no gerenciamento dos processos e base de dados para resolução de problemas.

De acordo com (Juran, 1992), o conceito de qualidade tem vários significados, destacando-se, dentre eles: desempenho do produto, adequação, uso e satisfação com o produto. Porém, o critério de uma boa qualidade é a preferência do consumidor. A obtenção da qualidade é originária do esforço de todos através da participação, trabalho de equipe, adoção de metodologia eficiente e capacitação. A valorização do funcionário com vistas à sua maior capacitação, adjunto de adoção da multi-funções, por exemplo, é fator incontestável para o aumento da qualidade.

Alguns métodos básicos de gerenciamento da qualidade mais utilizados são: 5W2H, gráfico seqüencial, diagrama de causa e efeito, fluxograma e *brainstorming*.

### 2.9.1 5W2H

É um método aplicado para definir de forma consistente as atividades a serem realizadas. 5W2H representa as iniciais das palavras, em inglês, *why* (por que), *what* (o que), *where* (onde), *when* (quando) *who* (quem), *how* (como) e *how much* (quanto custa). Segundo (Marshall Jr. 2006) a finalidade é definir um plano de ação tendo seus objetivos elaborados para identificar o que será feito, quando será feito, onde será feito, quando será feito, como será feito, quanto custará o que será feito e quem o fará.

### 2.9.2 Gráfico sequencial

O gráfico sequencial é uma forma plotada de demonstrar o comportamento de uma variável ao longo do tempo. Também conhecido como

gráfico de tendência é utilizado para mostrar e indicar os dados no intervalo de tempo estão propensos. O dados são marcados em um plano cartesiano onde a variável em estudo é representada no eixo vertical e ordem cronologia no eixo horizontal, permitindo a visualização da sua evolução em função do tempo.

### 2.9.3 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito também conhecido como espinha de peixe e diagrama de Ishikawa, é uma representação gráfica em forma de espinha de peixe, que organiza de forma coerente, os fatores (mão de obra, materiais, medições, máquinas, métodos e meio) que influenciam no resultado de um determinado processo conforme mostra a figura 22.

Segundo Werkema (2002), é empregado nas sessões de *brainstorming* realizadas nos trabalhos em grupo, com a finalidade de apresentar a relação entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado.

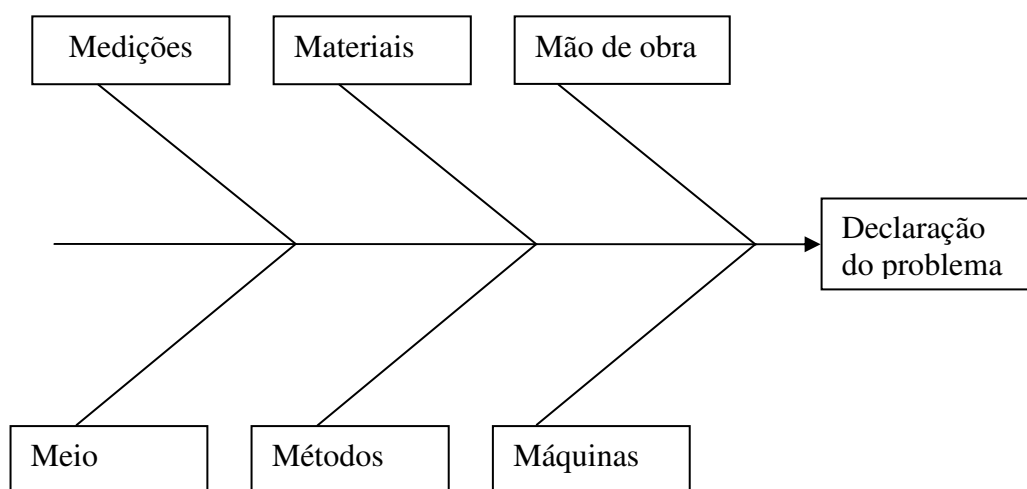


Figura 21: Diagrama de causa e efeito

A proposição desse diagrama é providenciar a visualização de todas as possíveis causas de um problema específico para: expandir seu raciocínio a fim de considerar todas as causas possíveis, conseguir a colaboração do grupo e verificar se o verdadeiro problema foi identificado corretamente.

### **2.9.4 Fluxograma**

O fluxograma é a representação gráfica que permite a visualização seqüencial de etapas e características de um processo como mostrado na figura 11. Essa ferramenta utiliza símbolos padronizados para facilitar a compreensão do processo como um todo.

Campos (1992) define: “Fluxograma é uma representação esquemática de um processo, feita através de gráficos que ilustram de forma descomplicada o fluxo de informações, são os passos necessários para a execução de um processo quaisquer”.

### **2.9.5 Gráfico de Pareto**

Baseado nos dados coletados o gráfico de Pareto gera informações visuais em forma de barras demonstrando de maneira que evidencia visualmente a priorização de temas, constituído a partir de um processo de coleta de dados. A informação assim disposta também permite o estabelecimento de metas específicas viáveis de serem alcançadas, pois o gráfico estratifica os dados. É utilizado quando se deseja priorizar problemas ou causas relativas a um determinado assunto.

A idéia do gráfico foi originada do estudo da distribuição de renda realizada por Valfredo Pareto, economista italiano do século XX, quando Joseph M. Juran desenhou uma figura para mostrar que poucas causas levam a maioria das perdas, e observou a semelhança com a figura da distribuição de renda de Pareto.

### 3 METODOLOGIA

Definido por (Lakatos e Marconi, 2003) a “Metodologia é a utilização de métodos científicos na concepção de trabalhos de pesquisa” oferece certeza nos objetivos atingidos durante as atividades, identificando falhas e embasando decisões. O método científico é um conjunto de regras básicas para desenvolver uma experiência a fim de produzir novo conhecimento, bem como reunir e melhorar conhecimento já elaborado.

De acordo com Gil (1991), as pesquisas se classificam quanto aos objetivos em: descritivas, exploratórias e explicativas; quanto aos meios em: bibliográficas, documental, experimental e estudo de caso; e quanto à abordagem em: quantitativa, qualitativa e quali-quantitativa.

Através de um estudo de caso com um objetivo exploratório e abordagem quali-quantitativa, serão utilizados dos bancos de dados do sistema de manutenção de uma unidade de beneficiamento de silvinita. Exploratório, pois serão observados defeitos nos componentes internos dos equipamentos que podem ser identificados antes de acontecer a falha nos mesmos e conseqüentemente gerar perda de produção.

As ferramentas de qualidade como Gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, e *brainstorming*. Também serão utilizados métodos de manutenção preditiva como análise de vibracional, termografia, análise de lubrificantes, ultra som e líquido penetrante para suprir de informações o banco de dados deste estudo de caso.

#### 3.1 Informações Iniciais da amostra

Foram avaliados neste estudo 92 equipamentos de produção, com os variados conceitos de operação na unidade e apenas na unidade de beneficiamento nas subáreas britagem com 5 equipamentos, moagem com 32 equipamentos, centrifugação com 8 equipamentos, secagem com 12 equipamentos e compactação com 35 equipamentos como mostra o gráfico 1.

Foram selecionados equipamentos que devido às suas características operacionais possibilitam a aplicação de técnicas de manutenção preditiva, que seus custos de manutenção são elevados, que sua complexidade tecnológica gera paradas prolongadas, que geram parada do processo produtivo ou gera risco ambiental e de segurança. Com objetivo exploratório é necessário o acesso ao banco de dados e a verificação visual dos defeitos efetivamente ocorridos comparados às análises emitidas nos relatórios da preditiva.

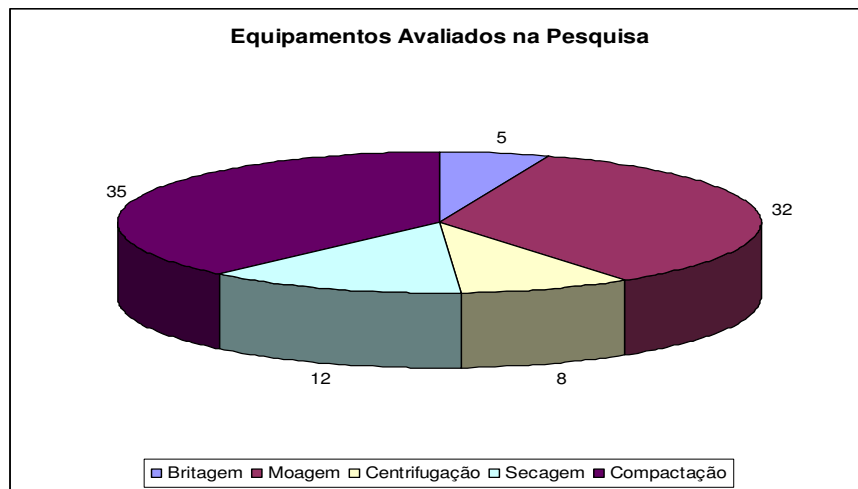


Gráfico 1 – Quantidade de equipamentos avaliados.

### 3.2 Coletas de dados

Os dados iniciais para referência são extraídos dos bancos de dados da empresa, para servirem de *baseline* e comparação após realização do estudo.

A coleta de dados para análise de vibração é feita através de transdutores tipo acelerômetros de quartzo piezelétrico, que tem a função de transformar a força de vibração em uma carga elétrica proporcional. Os sinais são enviados através de cabos elétricos ao Analisador de Máquinas CSI mod. 2120 e podem ser analisados no local de coleta dos dados ou armazenados e posteriormente descarregados em um computador através do *software* RBMware da CSI. Este *software* possui ferramentas que auxiliam no diagnóstico de defeitos.

Os pontos de coletas de dados nos equipamentos são selecionados onde existe maior concentração de forças, ou seja, nos mancais de rolamentos e nas direções horizontal, vertical e axial em relação à linha de centro do eixo.



## **4. ANÁLISE DE RESULTADOS**

O grande número de paradas inesperadas de equipamentos gerou perdas significativas do volume produzido e alto impacto econômico na unidade de beneficiamento. A aplicação da manutenção preditiva é primordial para que os defeitos sejam detectados antecipadamente e não ocorram falhas, porém existem várias técnicas que podem ser aplicadas a depender das características dos equipamentos e de qual retorno será projetado para sua utilização.

As técnicas aplicadas neste projeto são viáveis, pois os custos de investimento são proporcionalmente baixos com relação ao retorno analisado em médio prazo.

### **4.1 Condição Inicial da Amostra**

O número de paradas dos equipamentos estudados e o intervalo respectivo de tempo durante o ano de 2008, estão plotados nos gráfico 2 e 3, e mostram grande número de paradas com duração < 02 horas e no intervalo entre 02 e 04 horas o que caracteriza procedimentos de manutenção simples ou de baixo impacto na utilização de recursos (mão-de-obra, peças de reposição e logística), para disponibilizar o equipamento para operação. Os outros intervalos encontram-se mais homogêneos, porém sua contribuição no tempo de parada da produção é mais significativo. Não foi mostrado o valor referente ao mês de novembro devido a uma parada programada de produção neste período.

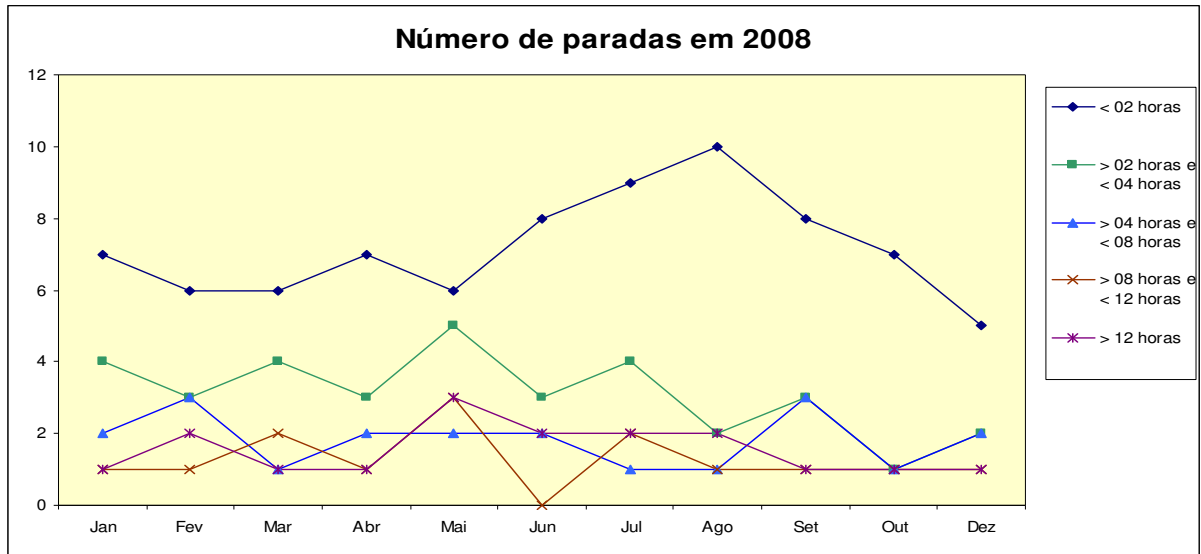


Gráfico 2 – Número de paradas em 2008.

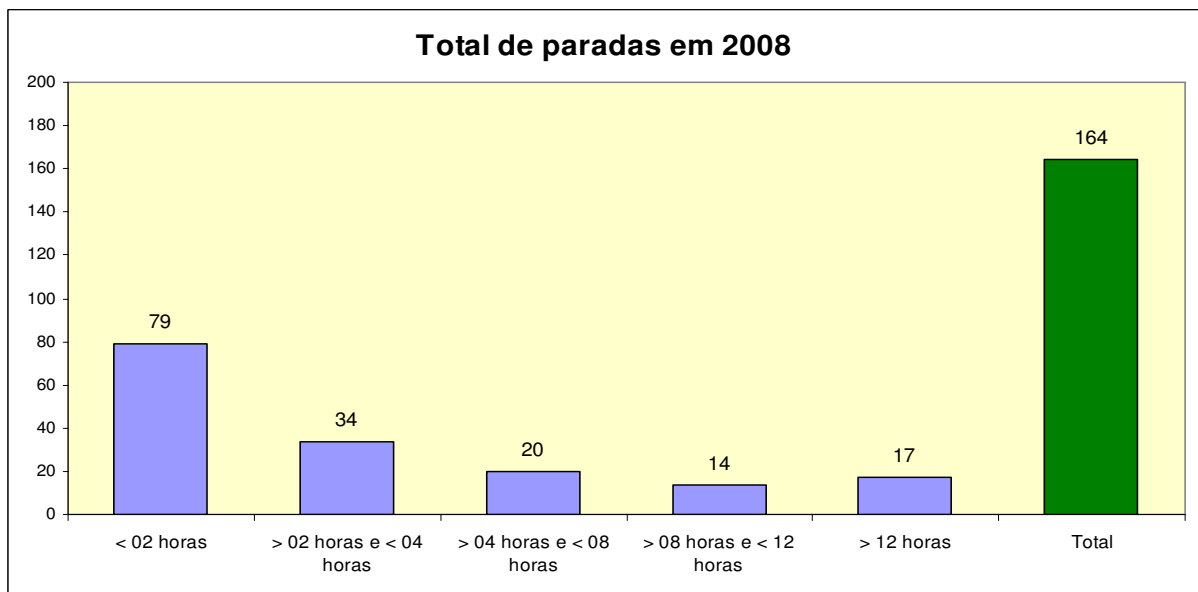


Gráfico 3 – Total de paradas em 2008.

A quantidade média de horas paradas nos intervalos acima de 04 horas é de alto impacto na perda de produção da unidade como mostrado na figura 4 e consequentemente os recursos direcionados para correção destas anomalias são de maior monta e requerem maior atenção.

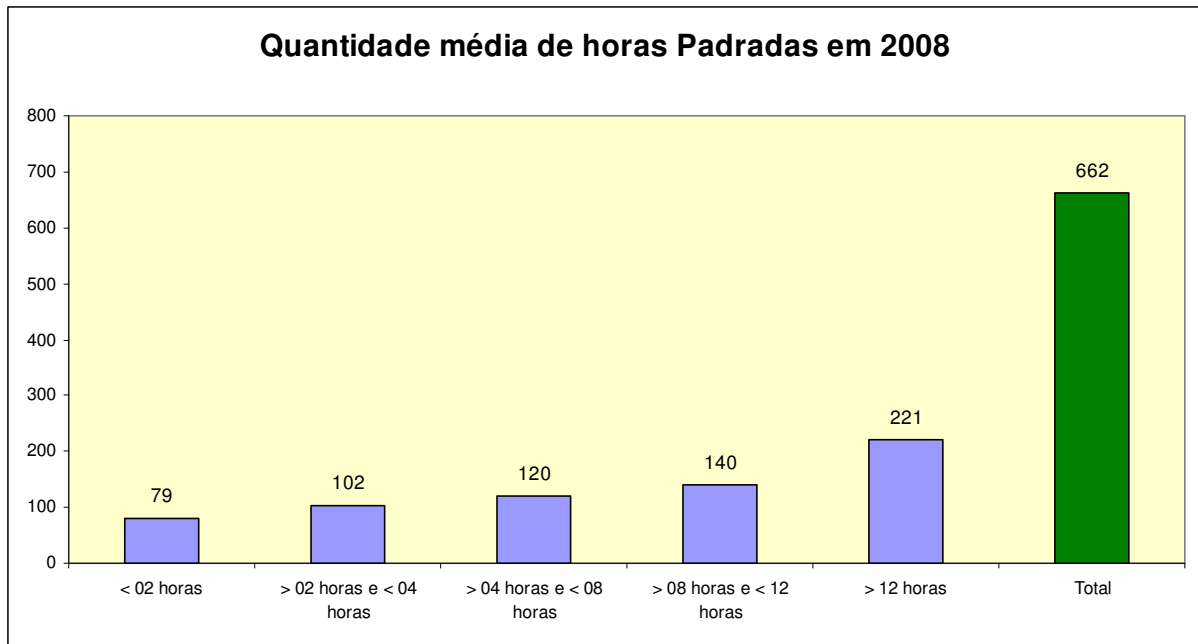


Gráfico 4 – Quantidade média de horas paradas

## 4.2 Identificação dos Defeitos nos Equipamentos

Com a utilização da análise de vibração nos equipamentos monitorados são emitidos os relatórios iniciais para correção dos defeitos ou acompanhamento da evolução do mesmo para que seja sanado de maneira programada.

A equipe de manutenção preditiva emitiu relatório com diagnóstico de 69 equipamentos com defeitos detectados dos quais 30 apresentavam desalinhamento entre eixos, 21 com defeito no rolamento, 9 com defeito no engrenamento, 3 com desbalanceamento, 3 com folgas mecânicas e 2 com defeito elétrico como mostra o gráfico 5. Porém outras paradas aconteceram em equipamentos que seus defeitos seriam identificados aplicando métodos tradicionais como a análise de vibração e corrigidos a tempo de evitar a falha.

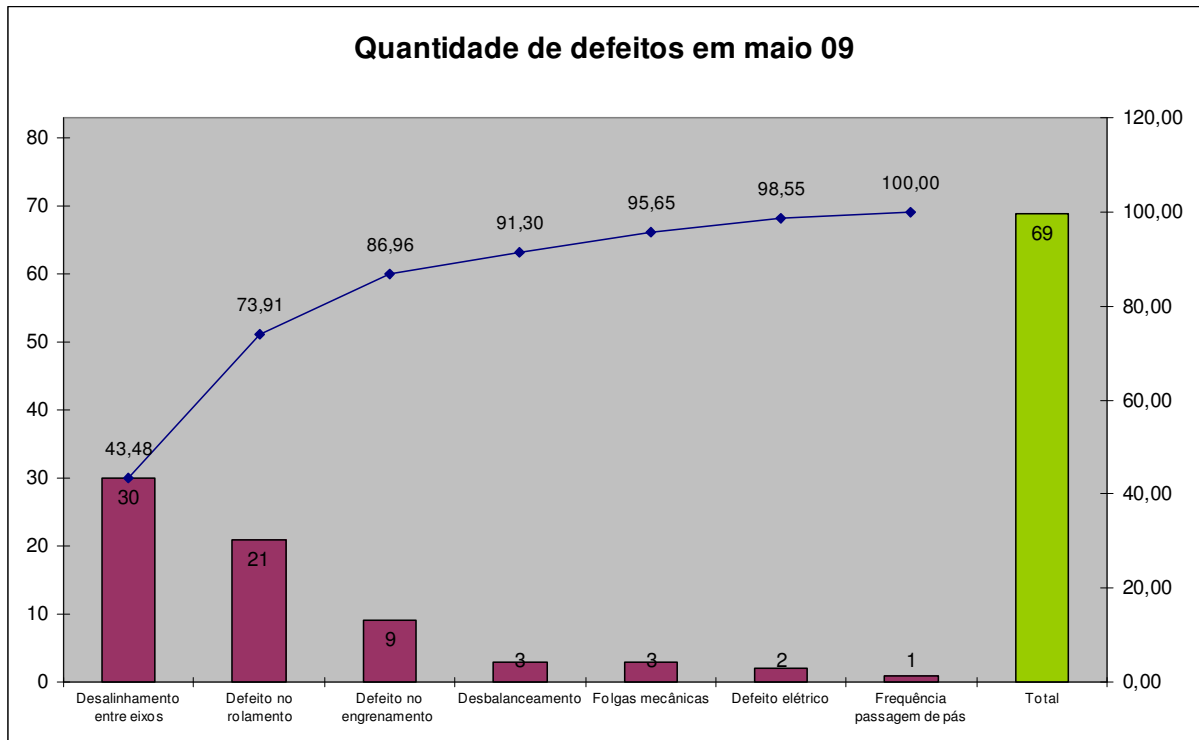


Gráfico 5 – Equipamentos com defeitos.

Como princípio básico desta ferramenta foi diagnosticado que 43,48% dos defeitos detectados são desalinhamentos entre eixos de equipamentos, sendo então objeto de estudo mais apurado e oportunidade de mitigar ou eliminar potenciais causas de parada de produção.

Aplicou-se a ferramenta de qualidade diagrama de causa e efeito juntamente com uma sessão de *brainstorming* para detecção de possíveis fatores causais da repetição do defeito de desalinhamento entre eixos conforme mostra a figura 22.

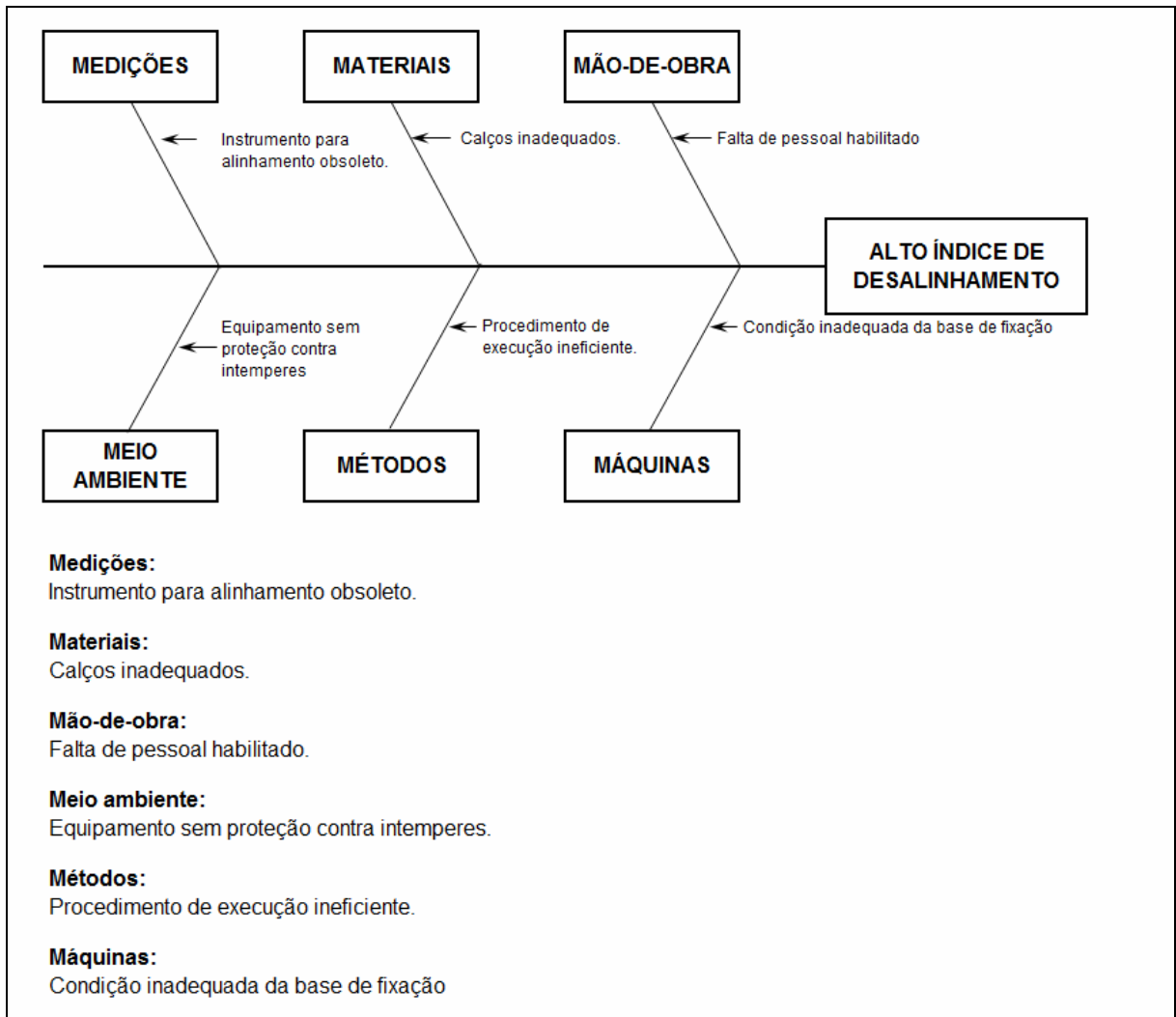


Figura 22: Diagrama de causa e efeito do alto índice de desalinhamento entre eixos.

Os itens calços inadequados e condição inadequada da base de fixação destes equipamentos foram constatados e corrigidos de imediato. Foi adquirido um instrumento para alinhamento a laser mostrado na foto 1, efetuado treinamento da equipe para utilização do novo método e elaborado um procedimento para alinhamento de equipamentos mostrado no Anexo A.



Foto 1 : Conjunto alinhador a laser.

### 4.3 Verificação das Ações Iniciais

No período entre o mês de junho e agosto de 2009 foram efetuadas 22 correções de alinhamento entre eixos com o novo método, substituídos 07 rolamentos detectados com defeito, corrigidas folgas mecânicas (parafuso de fixação folgados) e efetuado balanceamento em 02 equipamentos. Foi emitido outro relatório pela equipe de preditiva após a manutenção realizada, mostrado no gráfico 6.

Notou-se que após estas intervenções nos equipamentos devido ao desalinhamento os rolamentos de 06 máquinas, que não foram substituídos, não apresentavam mais características de defeito, ou seja, o desalinhamento entre eixos gera sobrecarga nos elementos internos do rolamento que inicia um processo de falha e também induz o erro no diagnóstico do técnico responsável pela análise. Os defeitos nos engrenamentos também sofreram redução sem a devida correção, ou seja, sofre influencia direta do desalinhamento entre eixos.

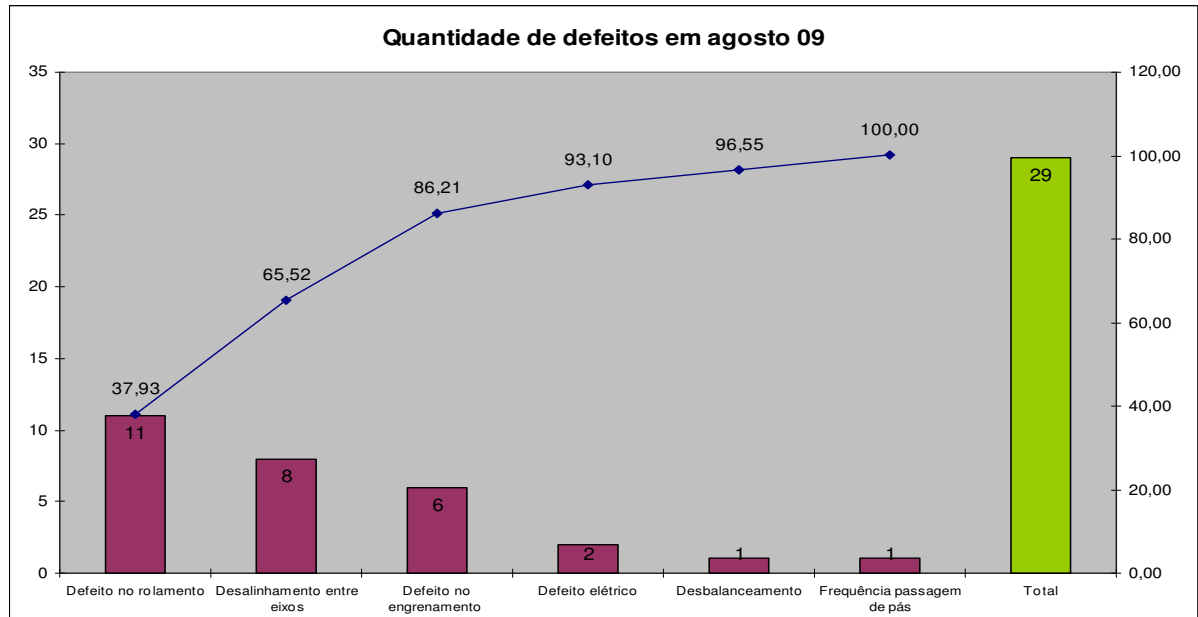


Gráfico 6 – Tipos de defeitos detectados

#### 4.4 Identificação de Causas de Maior Impacto

Conforme informado nos gráficos 3 e 4 as 17 paradas inesperadas de equipamentos gerou uma média de 221 horas de perdas no processo produtivo. Estratificando estas paradas podemos constatar no gráfico 7 que o grupo de equipamentos que mais contribuiu foi o de compactadores seguido do grupo de centrífugas.

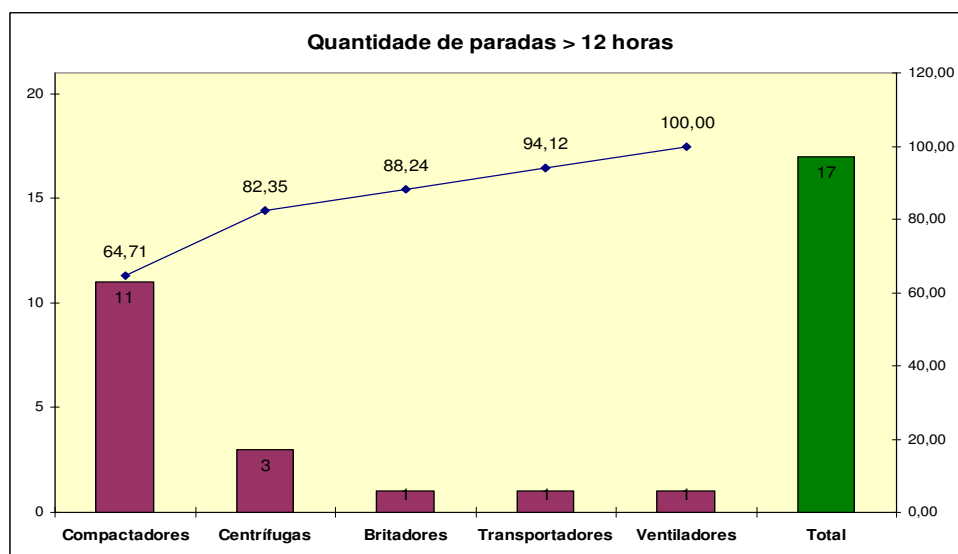


Gráfico 7 – Quantidade de paradas

Seguindo a estratégia de manutenção da empresa que determina a criticidade dos equipamentos conforme quadro 1, identificou-se que este grupo de equipamentos tem pontuação de 412 e é necessário a avaliação dos métodos já utilizados e quais podem ser implementados para atuação em conjunto ou complementar.

Quadro 1 – Criticidade dos grupos de equipamentos

<b>MATRIZ DE CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS</b>						
Tipos de Equipamentos	Complexidade tecnológica	Custos de manutenção	Parada do processo produtivo	Risco ambiental e de segurança	Qualidade	Total
Peso (5 a 10)	8	9	10	10	10	
Centrífugas	8	10	8	8	9	<b>404</b>
Bombas centrífugas	5	6	8	10	7	<b>344</b>
Britadores	6	7	9	6	10	<b>361</b>
Compactadores	9	10	9	7	9	<b>412</b>
Transportadores de caçambas	6	6	10	7	6	<b>332</b>
Transportadores de correia	5	8	7	8	7	<b>332</b>
Ventiladores	6	6	8	8	7	<b>332</b>

#### 4.4.1 Informações preliminares dos compactadores

Estão instalados cinco compactadores na subárea da compactação, estes equipamentos têm características específicas por operar com 14 rotações por minuto com cargas radiais elevadas nos rolamentos, alguns subconjuntos que o compõe têm alto custo de manutenção e sua reposição é demorada por se tratar de componentes importados.

O princípio básico de funcionamento do equipamento é baseado na compressão, via cilindros hidráulicos, de dois rolos acionados individualmente por dois motores e dois redutores planetários conforme figura 25.



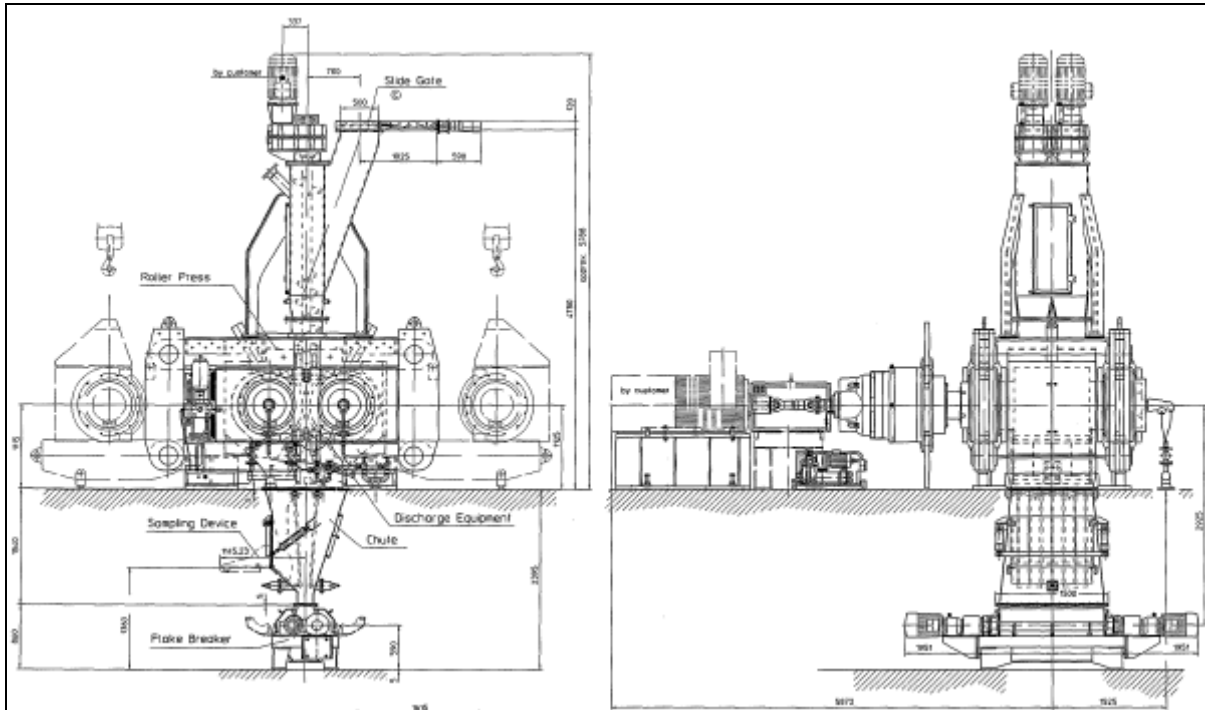


Figura 23 Vista geral do rolo compactador

Cada motor de corrente alternada com potência de 370 kW, 1800 rpm e 4160 volts aciona o redutor planetário com torque de 252 kNm, rotação de entrada 1800 rpm e saída 14 rpm mostrado na figura 24, que por sua vez aciona o eixo revestido com um anel de moldagem indicado na figura 25 com diâmetro de 1000 mm onde é compactado o minério com 55 kN/cm a uma temperatura entre 100 e 140° C.

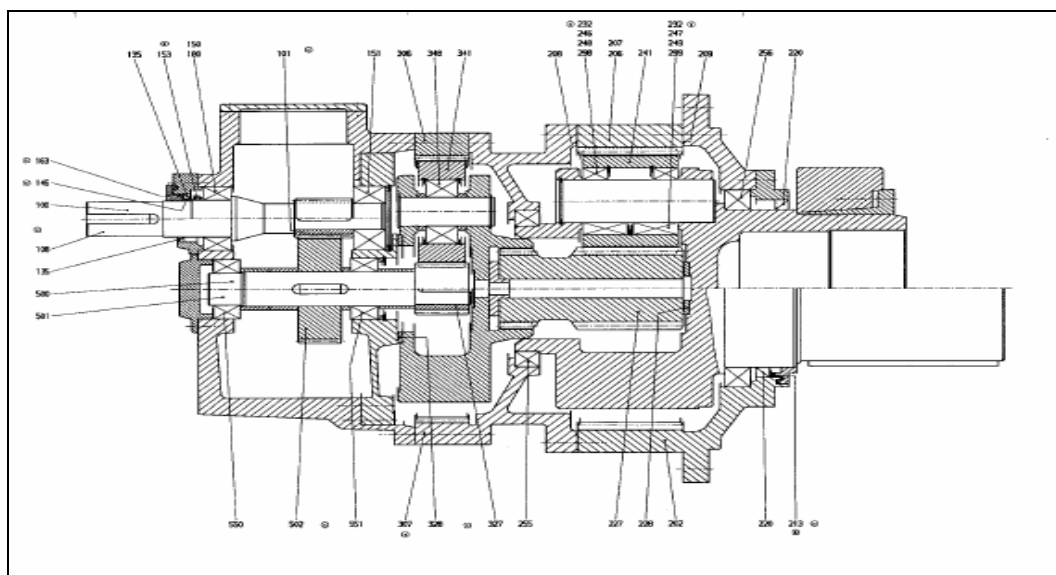


Figura 24 Corte lateral do redutor planetário.

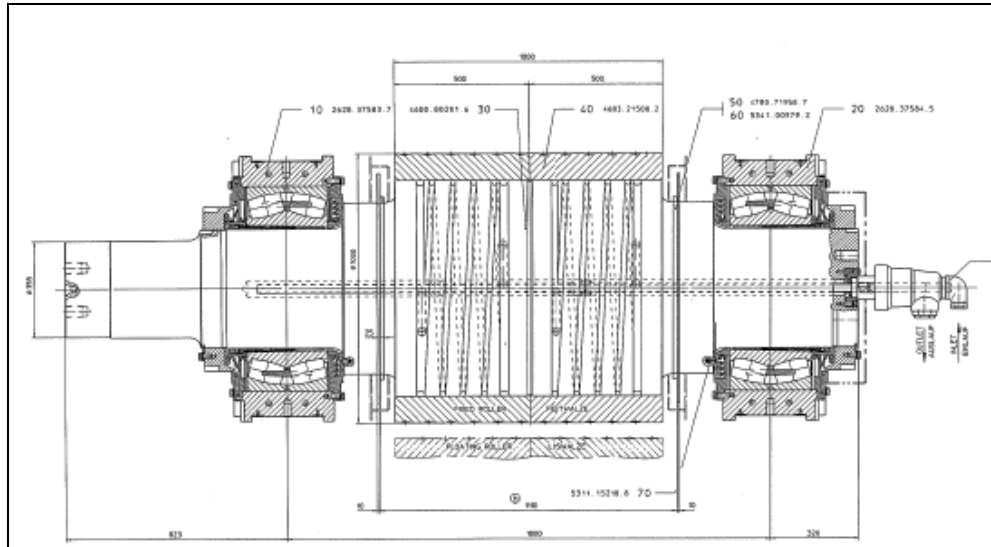


Figura 25 Corte lateral do eixo com anel de moldagem.

O procedimento de coleta de dados e análise vibracional não registrou ou identificou defeito nos componentes do equipamento, mesmo ocorrendo falhas no equipamento após a emissão dos relatórios.

Devido a complexidade destes componentes implementou-se um método, através da análise de vibração, específico para detecção de defeitos em rolamentos trabalhando com baixa rotação. O tempo de coleta dos dados é 3 vezes maior que o usual, porém sua resolução é bem mais superior possibilitando ao analista um diagnóstico mais preciso como mostra o gráfico 8. Onde foi detectado um defeito no rolamento do eixo compactador antes da falha no componente conforme figura .

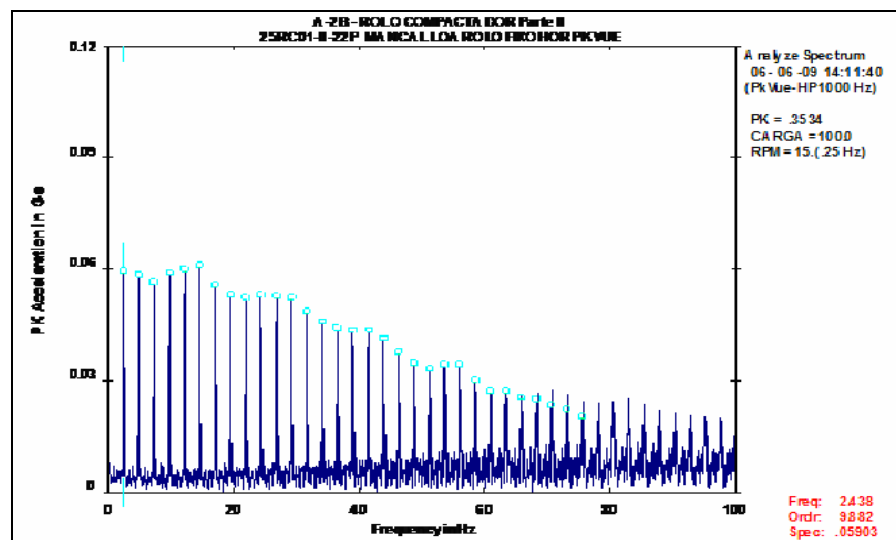


Gráfico 8 – Indicação de defeito no rolamento do eixo compactador

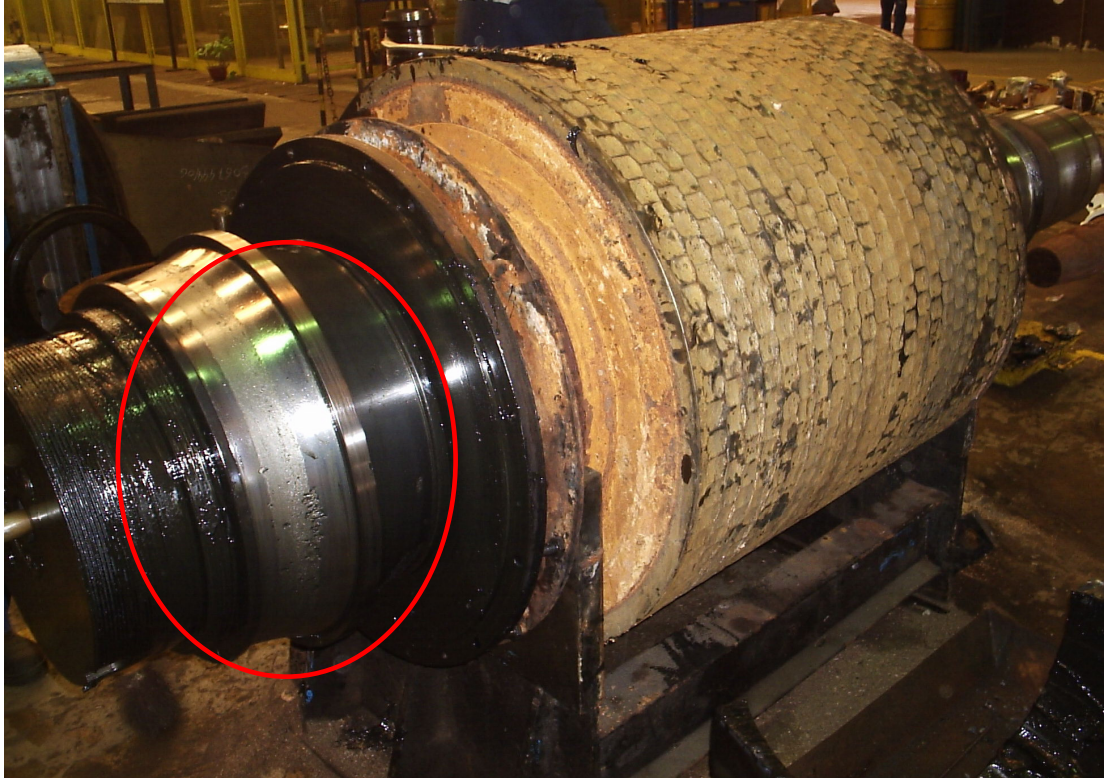


Foto 2 – Defeito no rolamento do eixo compactador

O método mostrou ser eficiente, mas não infalível. Pois utilizando os mesmos procedimentos, instrumentos e técnico analista ocorreram falhas em outros compactadores nos mesmos pontos analisados.

#### **4.4.2 Ocorrência das falhas nos compactadores**

Nos período entre maio e julho ocorreram 03 falhas no grupo de 05 compactadores:

- a) A quebra dos rolamentos de rolos cônicos do redutor planetário (foto 3) sem a detecção antecipada e causou a para da máquina 04 por 23 horas.
- b) O travamento do rolamento do eixo compactador máquinas 2 e 5 conforme mostra a foto 4 , gerando interrupção na produção.



Foto 3 – Rolamento danificado do redutor



Foto 4 – Rolamento danificado do eixo.

Como mostrado nas fotos 3 e 4, apesar de apresentar bons resultados a análise de vibração não detectou os defeitos no rolamento do eixo compactador nem no rolamento do redutor planetário fazendo-se necessário identificar métodos ou ferramentas que possam antecipar a detecção do defeito nos componentes do equipamento.

#### **4.4.3 Aplicação de outras técnicas de manutenção preditiva no compactador**

Devemos considerar que o aspecto construtivo de certos equipamentos e, ainda, a existência de certos modos de falhas de seus componentes requer a

utilização de mais de um método de monitoração e detecção dos defeitos sendo mostrados os métodos aplicados no projeto.

### A) Aplicação de líquido penetrante e ultra-som no eixo compactador

O ensaio por líquido penetrante é executado no eixo para detecção de trincas superficiais para verificar se existe justificativa para aplicar o ensaio por ultra-som, pois o custo para efetuar este tipo de inspeção é maior e será executado por empresa contratada.

Após os ensaios identificou-se trincas nas regiões 6 e 7, como verificado na figura 26 e foto 5, justificando então a necessidade de aplicação do ensaio por ultra-som no eixo com intuito de prever trincas que influenciam no desgaste dos rolamentos.

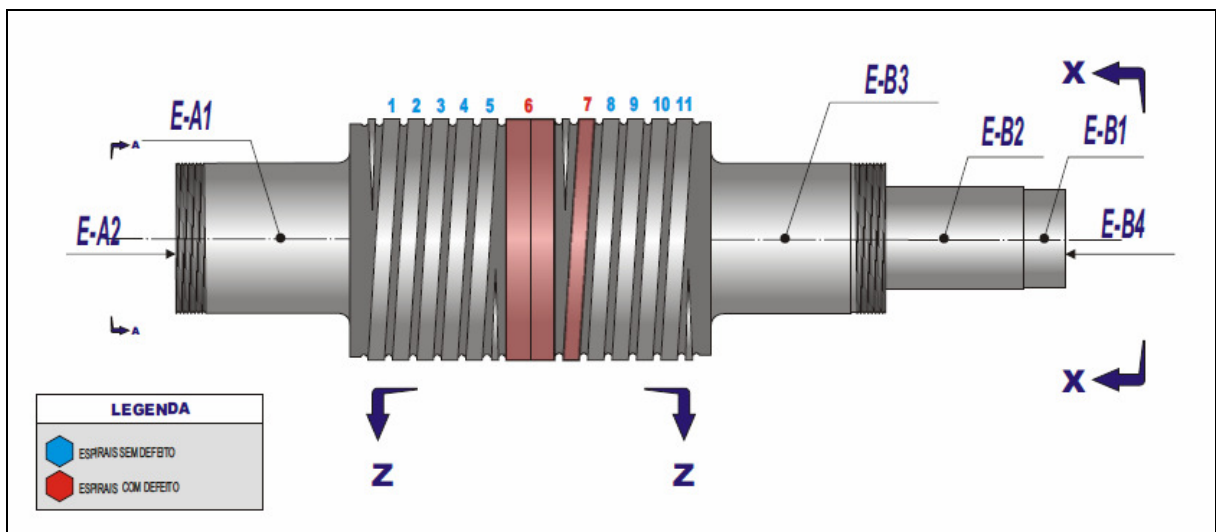


Figura 26- Ilustração da região das trincas



Foto 5 – Trinca nas regiões 6 e 7 no eixo.

Foi efetuado ensaio por ultra-som conforme foto 6 no eixo e identificado que as trincas existentes tem profundidade de 15,5 mm, mostrado no quadro 2, o que torna necessário a recuperação do eixo através do processo de soldagem.



Foto 6 – Ensaio por ultra-som no eixo

Quadro 2 – Relatório de ensaio por ultra-som

IDENTIFICAÇÃO PEQUENA:				LOCALIZAÇÃO UNIFORME:								
EIXO DO ROLO COMPACTADOR TAG.: 25-RC-02				REG. SOL. QUIM.		CONDIÇÃO SUPERFÍCIE:						
Nº DESENHO:		MATERIAL:	METALIZAÇÃO:	TRD. JANTA:	TIPO CHAMFRO:	RETIFFICADA:						
DE-SHT-VALE-01		AÇO CARBONO	NA	NA	NA	ASME V Art. 25 SA.386 A-418						
<b>APRESENTAÇÃO:</b> <b>Krautkrämmer</b> <b>USM2</b> <b>TECNICA:</b> CONTATO LONGITUDINAL / TRANSVERSAL ESP. BLOCOS REF. <b>PADRÃO V1</b> SENSIBILIDADE: Ø CURVA REF. ACOPLAMENTO: CARBOXIMETILCELULOSE				<b>PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO UTILIZADO:</b> Para Ø ≥ 6" <b>PCQ-01/H/S/REV.2</b>	<b>TRANSDUTOR:</b> MSEB4H MWB60N4 MWB70N4 MWB45N4	<b>ÂNGULO REAL:</b> 0° 60° 70° 45°	<b>FREQUÊNCIA:</b> 4Mhz 4Mhz 4Mhz 4Mhz	<b>DIMENSÕES:</b> Ø 10mm 8 X 9 mm 8 X 9 mm 8 X 9 mm	<b>QP:</b> 28 36 38 28	<b>QT:</b> 28 36 38 28	<b>QV:</b> 34 42 44 34	
ESPIRAL	DESCONTINUIDADE					TRANSDUTOR			LAUDO	CARACT. DESCONT.	OBSERVAÇÕES	
	Nº	DB	COMPR.	PROF.	DESP. T	REF. ZERO	ÂNGULO	PS ON	POB			
ESP 6	1	+6	10	15,5	44	390	60°	31	1	*	TL	---
	2	+6	154	15,5	57	434	60°	31	1	*	TL	---
	3	+8	223	15,5	63	600	60°	31	1	*	TL	---
	4	+6	232	15,5	67	885	60°	31	1	*	TL	---
	5	+6	167	15,5	69	1614	60°	31	1	*	TL	---
ESP 7	1	+6	35	15,5	58	0	60°	31	1	*	TL	---
	2	+6	360	15,5	58	2379	60°	31	1	*	TL	---

### B) Utilização de termografia no redutor planetário

A característica de vibração do redutor e a lubrificação forçada em seus componentes internos atenuam os efeitos dos desgastes, este fenômeno bloqueia as amplitudes de vibração e não detectados na análise de vibração.

A utilização da termografia nestes equipamentos mecânicos requer que os mesmos estejam em operação e este aspecto é ponto importante para predizer defeitos ainda no início de sua ocorrência. Isto facilita o planejamento para correção antes que o equipamento chegue a falhar parando a produção.

O método de termografia foi aplicado no redutor planetário e seu diagnóstico forneceu uma imagem que possibilitou a identificação de um ponto sobre aquecido com 109°C na região do rolamento do eixo de entrada conforme mostram a figura 29 e foto 7.



Foto 7 Imagem térmica do redutor.



Foto 8 – Redutor planetário do compactador



Após efetuado a desmontagem do redutor verificou-se que o rolamento apresentava mudança na coloração devido a temperatura elevada no componente e conseqüentemente inicio de desgaste no mesmo conforme mostra a foto 9.



Foto 9 – Rolamento danificado do redutor planetário

### **C) Utilização da análise de lubrificante do rolamentos**

Os rolamentos do eixo compactador são lubrificados com graxa por sistema automatizado e constante, sendo este lubrificante descartado após sua utilização. Durante este processo caso inicie-se um desgaste nos componentes do rolamento, partículas dos metais que os compõem se desprendem e ficam em suspensão na graxa.

Foi efetuada análise microscópica da graxa que se encontrava no rolamento danificado e evidenciado a existência de partículas de cromo e bronze na amostra coletada mostrada na foto 10. Este teste indica que o método é uma fonte rica de informação e pode ser aplicado de forma preditiva para detectar o início do

desgaste dos componentes internos dos rolamentos, antes que os mesmos entrem em falha.

Este método está em estudo técnico e financeiro por uma equipe multidisciplinar para analisar a viabilidade e orçar verbas para aplicação posterior.

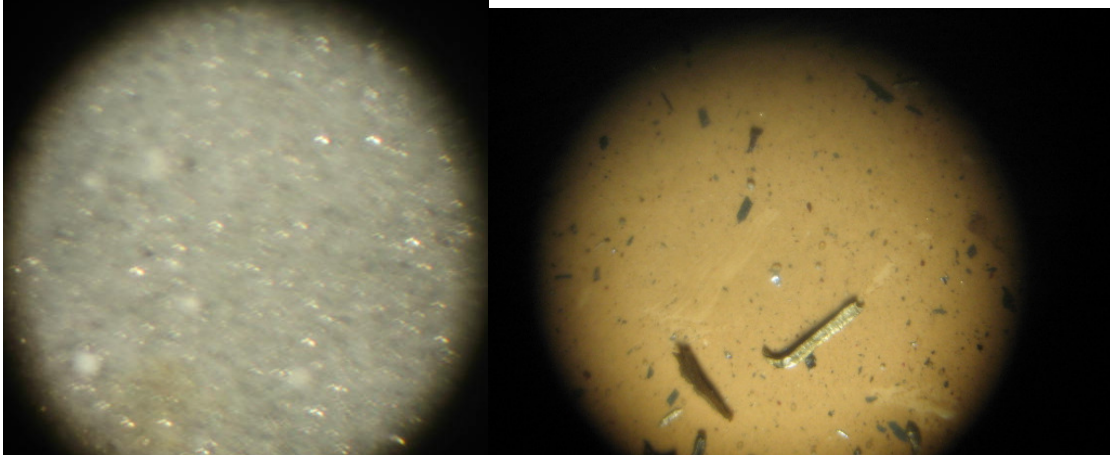


Foto 10 – Partículas de cromo e bronze respectivamente.

Após a aplicação das técnicas de manutenção preditiva de maneira integrada, ou seja, utilizando a análise de vibração em conjunto com a termografia e análise de lubrificantes não registrou-se paradas de compactadores em decorrência de falhas nos rolamentos ou redutores planetários.

Foram registradas 02 paradas com duração maior que 12 horas causadas pela fratura no anel de moldagem do eixo compactador, mostrado na foto 11.



Foto 11 - Anel de moldagem fraturado.

Estas anomalias não estão relacionadas aos defeitos monitorados pela manutenção preditiva.

## 5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho teve como meta mitigar os problemas de perdas de produção, devido a paradas inesperadas de equipamentos na usina de beneficiamento de silvinita, aumentando a disponibilidade dos equipamentos, através da aplicação de técnicas de manutenção preditiva. Os métodos manutenção preditiva utilizados de maneira integrada e a aplicação de ferramentas de qualidade têm a característica de localizar o problema em estudo e atenuar ou bloquear seus efeitos. Estes métodos tornaram sua aplicação um êxito, mesmo em um período curto de tempo, os resultados foram acima da meta esperada.

Foram apresentadas na fundamentação teórica as operações do processo de beneficiamento de silvinita, o histórico da manutenção e seus conceitos, as técnicas básicas de manutenção preditiva, assim como também os fenômenos físicos envolvidos, e ferramentas de qualidade mais utilizadas para servir de alicerce durante a realização do trabalho.

Tendo como base a fundamentação teórica e os dados coletados durante os estudos realizados na unidade de beneficiamento de silvinita, foram aplicados métodos de manutenção preditiva e ferramentas de qualidade para detecção dos defeitos e falhas nos equipamentos o que geram oportunidades de melhorias e resolução de problemas que ocasionavam perdas financeiras. A solução foi encontrada na utilização de técnicas de manutenção preditiva de forma integrada, ou seja, sendo utilizadas uma como complemento ou de forma a ratificar os defeitos encontrados.

O grande desafio após os ganhos envolvidos nesse projeto é perpetuá-lo, visto que os métodos utilizados são meios que devem ser de forma contundente aplicados e renovados a cada desafio que é apresentado.

Sabe-se que estas técnicas manutenção preditiva devem ser aplicadas paralelamente aos métodos de outras formas de manutenção, tais como a preventiva e a engenharia de manutenção, pois como pode-se ver durante o trabalho apresentado que os defeitos são detectados após existirem o que leva ao questionamento se não poderiam ser evitados.

## REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8008/83**, “**Balanceamento de Corpo Rígidos Rotativos – Qualidade – Procedimento**”, maio de 1993.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da Qualidade Total**. 6. ed. Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2. reimpressão, 2005, p. 2-6 , 132-141.

FILHO, A. B. **Utilização de Ferramentas de Confiabilidade em um Ambiente de Manufatura de Classe Mundial**: Dissertação para Mestrado. São Luis, 2000.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

HOLLIDAY, David; RESNICK Robert; Walker, Jearl. **Fundamentos da Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica** LTC Editora 2004.

JURAN, J. M. **Juran planejando para a qualidade**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 2ª edição, 1992. 394p.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MARSHALL JR., Isnard et al. **Gestão da qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: FGV 2006, p. 128 – 131

MENEZES, Ivan Montenegro de; Almeida, Magnus Lellis de. **Manual da Manutenção Industrial**. 1. ed. Minas Gerais: Lettrográfica Editora Ltda, 2002.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva** vol. 1 e 2. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1989.

NIEMANN, Gustav. **Elementos de Máquinas vol. 2** São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1989.

OLIVEIRA, Ricardo Policarpo, **Glossário Técnico Manutenção e Engenharia Industrial**, 2003.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Julio Aquino Nascif. **Manutenção Função Estratégica**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

REIS, Daur, PATI, Niranjan. **Applications of artificial intelligence to condition-based maintenance**. RAE – Revista de Administração de Empresas. Fundação Getúlio Vargas. Abr./Jun. 2000 São Paulo, v.40 n.2 p. 102-107.

SIQUEIRA, Iony P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**, Rio de Janeiro: editora de desenvolvimento gerencial, Qualitymark Editora Ltda, 2005.

TAVARES, Lourival Augusto. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo pólo publicações, 1999.

TORRES, Leandro Daniel, **Mantenimiento Su implementación y gestión**, 2 ed, Argentina: Editora Universitas, 2005.

XENOS, Harilaus. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, Belo Horizonte: editora de desenvolvimento gerencial, 1998.

ZILL, Dennis G.; CULLEN, Michael R., **Equações Diferenciais volume 1**, 3 ed. São Paulo: Makron Books, 2001.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

## **ANEXOS**

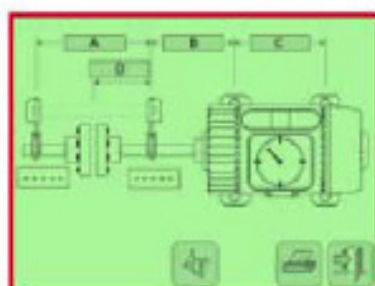
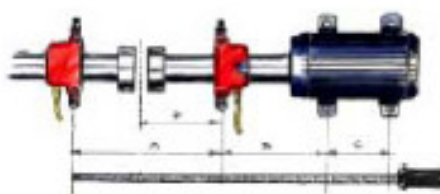
## ANEXO A – Procedimento para alinhamento de equipamentos



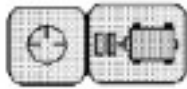
### MÉTODO DO RELÓGIO

#### Procedimento

1. No menu principal, toque a *Ícone Alinhamento de máquinas horizontais* (programa 1).
2. A tela mostra a máquina móvel. Os campos em cinza devem ser preenchidos com dados. Meça a distância A. Toque a campo A e preencha com o valor. Confirme com OK. Continue com as distâncias B e C. A distância D está programada para ser a metade da distância A, porém pode ser alterada tocando-se o campo D.  
Nota: A distância A é medida de centro a centro dos pinos. A distância B entre o centro o pino até a centro do parafuso/porca dos pés dianteiros a distância C é medida entre o centro dos parafusos/porcas.
3. Posicione-se ao lado da máquina móvel olhando para a máquina estacionária.





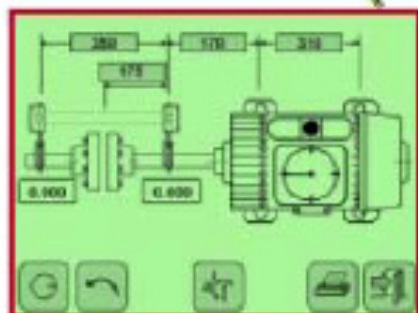


4. Posicione as unidades TD em 12 horas, utilizando o inclinômetro digital. O led da unidade TD-M passa a piscar de verde para vermelho e verde quando as unidades estiverem na posição correta com tolerância de  $\pm 3^\circ$ . Ajuste os raios laser de modo que atinjam os centros das miras utilizando-se dos parafusos de ajuste azuis.

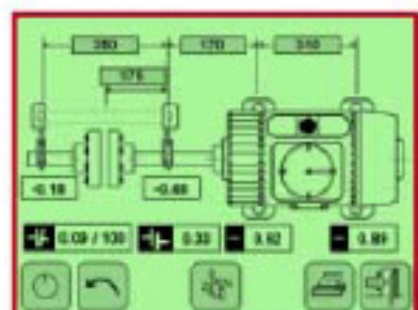




5. Gire os eixos para posicionar as unidades TD na posição 9 horas. Abra as miras, espere até os valores aparecerem na tela e toque o ícone 9 horas.

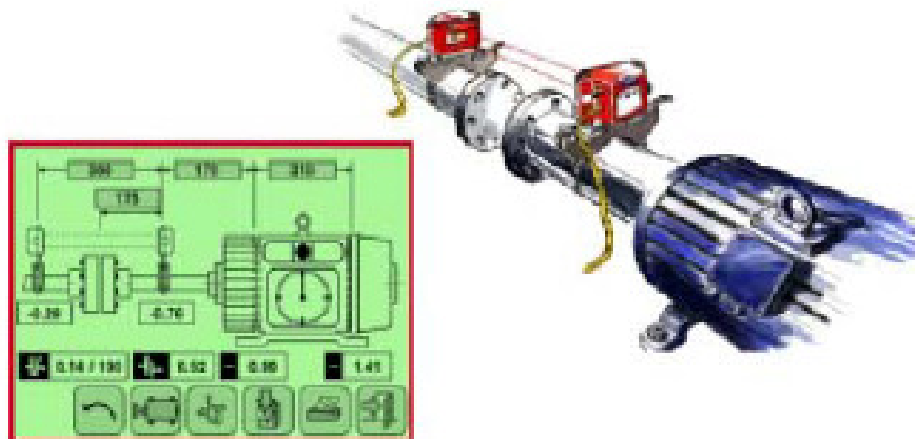


6. Utilizando o inclinômetro digital, gire os eixos até posicionar as unidades TD em 3 horas e toque o ícone 3 horas. A tela mostrará a posição atual da máquina móvel no plano horizontal.

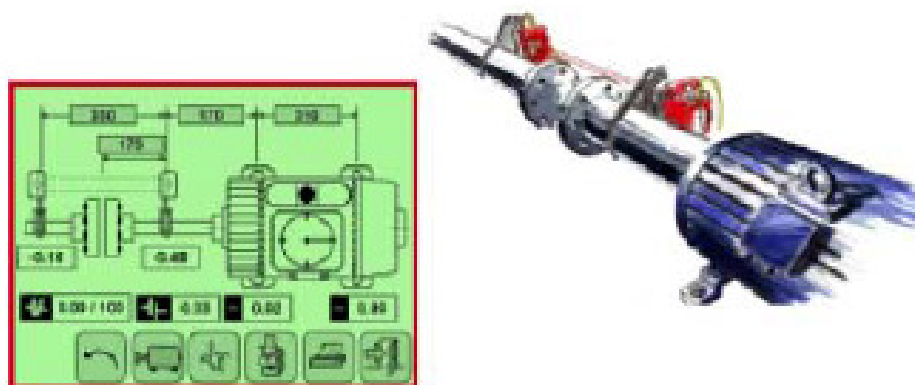




7. Gire os eixos para posicionar as unidades TD em 12 horas e toque o ícone 12 horas. A tela mostrará a posição atual da máquina móvel no plano vertical.



8. Ajuste a máquina verticalmente até que os valores de alinhamento angular e radial estejam dentro da tolerância especificada.
9. Volte para a posição 3 horas e toque o ícone 3 horas. Ajuste a máquina horizontalmente até que os valores de alinhamento estejam dentro da tolerância especificada.





10. Volte para a posição 12 horas e toque o ícone 12 horas para verificar se o alinhamento continua dentro da tolerância.
11. Medição e ajustes estão agora completos. Para confirmar o resultado, refaça a medição. O resultado pode ser impresso tocando-se o ícone da impressora, memorizado ou transferido para um PC. A medição será guardada em uma memória permanente com a data e hora atuais. Para maiores detalhes veja o Gerenciamento de Memória.

**Nota:** A medição original é que é salva na memória e não os valores após os ajustes. Para memorizar os novos valores deve-se repetir a medição.