

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS**  
**(APMA 2/2016)**

**DANIEL ARAÚJO OLIVEIRA**

**MANUTENÇÃO PREDITIVA: CONFIABILIDADE E QUALIDADE**

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**DANIEL ARAÚJO OLIVEIRA**

**MANUTENÇÃO PREDITIVA: CONFIABILIDADE E QUALIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Prof. Nélio Fernandes

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**DANIEL ARAÚJO OLIVEIRA**

**MANUTENÇÃO PREDITIVA: CONFIABILIDADE E QUALIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Prof. Nélio Fernandes

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho a todos amigos e colegas de profissão que enfrentam diariamente a dura vida no mar.

## **AGRADECIMENTOS**

A **Deus**, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais e irmã, por tudo que eles me proporcionaram. Todas as palavras de agradecimento nunca poderão ser capazes de demonstrar o quanto tenho a agradecer.

A minha namorada Fernanda Diógenes, por todo amor e apoio transmitidos diariamente.

Ao professor e orientador Nélio Fernandes, não somente por ter sido um excelente professor, mas também por passar todo o seu entusiasmo.

Aos meus familiares, que mesmo distante sempre me apoiaram e incentivaram.

Aos amigos próximos e os mais distantes, por todo apoio e confiança.

Obrigado a todos por me ajudarem a alcançar meu objetivo de ser Primeiro Oficial da Marinha Mercante.

*“O homem de manutenção sente-se bem quando consegue evitar todas as falhas não planejadas.”*

*Paradigma do homem moderno*

## RESUMO

O presente trabalho tem como o objetivo apresentar a manutenção preditiva, mostrando as diversas técnicas e a periodicidade para que as mesmas sejam realizadas. Também será apresentada a história da manutenção junto com os seus diversos tipos, além das aplicações das diversas técnicas a bordo. Foram consultados Oficiais de Máquinas a bordo de navios mercantes e manuais.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva. Confiabilidade e qualidade.

## **ABSTRACT**

This work looks for to show the predictive maintenance through the various techniques and the periodicities that this can be done. Also will be present the maintenance history and the several kinds, apart applications of various techniques on board. Were consulted Engineers on board of merchant vessels and manuals.

Keywords: Predictive Maintenance. Reliability and quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Processo de Manutenção	14
Figura 2:	Processo de Manutenção Corretiva	15
Figura 3:	Evolução dos tipos de manutenção	18
Figura 4:	Aplicação de Recursos de manutenção	19
Figura 5:	Processo de manutenção preditiva	20
Figura 6:	Análise de vibrações	23
Figura 7:	RADIÔMETRO	26
Figura 8:	Termográfica (sensoriamento em painéis elétricos)	27

## LISTA DE TABELAS

Figura 1:	Comparação de custos (1998)	19
Figura 2:	Programa básico de vigilância	28
Figura 3:	Técnicas preditivas	29
Figura 4:	Técnicas de manutenções preditivas a bordo de embarcações	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Conceito de manutenção</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>TIPOS DE MANUTENÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Manutenção corretiva</b>	<b>14</b>
3.1.1	Tipos de manutenção corretiva	15
<b>3.2</b>	<b>Manutenção preventiva</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Manutenção detectiva</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Manutenção preditiva</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>Engenharia de manutenção</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>MANUTENÇÃO PREDITIVA</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Manutenção preditiva aplicada em embarcações</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No passar dos anos, a manutenção vem evoluindo constantemente buscando alternativas e técnicas inovadoras com o objetivo de alcançar a maior eficácia dos equipamentos, maior confiabilidade possível e o nível de qualidade desejado. Desta forma surge dentre outras técnicas a manutenção preditiva que tem como finalidade monitorar as condições reais de funcionamento das máquinas e equipamentos com base em dados que informam os seus desgastes ou processos de deterioração.

Diante desta técnica, as empresas optam em utilizar a manutenção preditiva, porém há necessidade em monitorar todas as máquinas críticas, equipamentos e sistemas, o que não pode se limitar a uma única técnica.

As técnicas de monitoramento na preditiva, ou seja, baseadas em condições, incluem: análise de vibração, ultrassom, ferrografia, tribologia, análise de óleo, inspeção visual, e outras técnicas não destrutivas. A combinação destas técnicas de monitoramento e de análise oferece os meios de controle direto de todos os equipamentos e sistemas críticos em uma embarcação.

São considerados equipamentos críticos aqueles que afetam diretamente na operacionalidade da embarcação e uma parada não programada acaba gerando um custo elevado além da possibilidade de colocar em perigo a salvaguarda da vida humana e o risco de poluição.

Os custos de manutenção correspondem à parte principal dos custos operacionais totais de uma empresa. Dependendo da indústria específica, os custos de manutenção podem representar entre 15% a 30% do custo dos produtos fabricados.

A inclusão da manutenção preditiva na rotina de uma empresa, oferecerá a capacidade de aperfeiçoar a disponibilidade do maquinário de processo, e reduzirá bastante o custo da manutenção. Na realidade, a manutenção preditiva pode ser vista como uma evolução da manutenção preventiva que nada mais é do que uma técnica de manutenção que tem como objetivo principal a prevenção da ocorrência de uma falha ou uma parada do equipamento por quebra.

## 2 HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO

Podemos dividir a história da manutenção, de forma geral, em três períodos distintos (MOUBRAY, 1997):

- a) Primeiro período – anterior a 2.a Guerra Mundial, denominado como manutenção da primeira geração onde a disponibilidade dos equipamentos e a preocupação pela prevenção das falhas não era prioridade. Os equipamentos eram superdimensionados, os projetos eram simples e o seu reparo de fácil execução sendo, portanto, mais confiáveis. A limpeza e a lubrificação eram suficientes, não havendo necessidade de fazê-los de forma sistemática.
- b) Segundo período – denominado manutenção da 2.a geração, iniciou-se na década de 1950, onde o pós-guerra gerou crescente demanda por produtos impulsionando a mecanização das indústrias, com máquinas numerosas e complexas. Planos de manutenção preventiva eram elaborados e passou a existir a preocupação com os tempos de parada dos equipamentos produtivos. O conceito de manutenção preventiva surge, então, aparecendo também a consideração de que as falhas nos equipamentos podiam e deviam ser previstas. Os custos de manutenção elevaram-se sendo necessário maior controle.
- c) Terceiro período – iniciado em meados da década de 1970, foi denominado manutenção da 3.a geração. Neste período buscou-se novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos produtivos, passando a existir a preocupação com alta disponibilidade e confiabilidade, sem proporcionar nenhum dano ao ambiente, ter maior segurança, maior qualidade do produto e custos sob controle.

### 2.1 Conceito de manutenção

A manutenção pode ser definida, segundo o dicionário Aurélio como: “A medidas necessárias para a conservação ou permanência, de alguma coisa ou situação” e ainda “Os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”. Entretanto, o mais comum é definir a manutenção como “o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas e equipamentos, visando garantir a continuidade de sua função dentro de parâmetros

de disponibilidade, de qualidade, de prazo, de custos e de vida útil adequados”. Nesta definição, de grande abrangência, a manutenção é caracterizada como um processo. Um processo que deve iniciar antes da aquisição e que tem como principal função o prolongamento da vida útil do equipamento ou sistema.

### 3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Existem basicamente cinco tipos de manutenção que são: manutenção corretiva (não planejada e planejada), que pode ser de emergência ou não, manutenção preventiva, manutenção preditiva, detectiva e engenharia da manutenção.

Figura 1: Tipos de manutenção



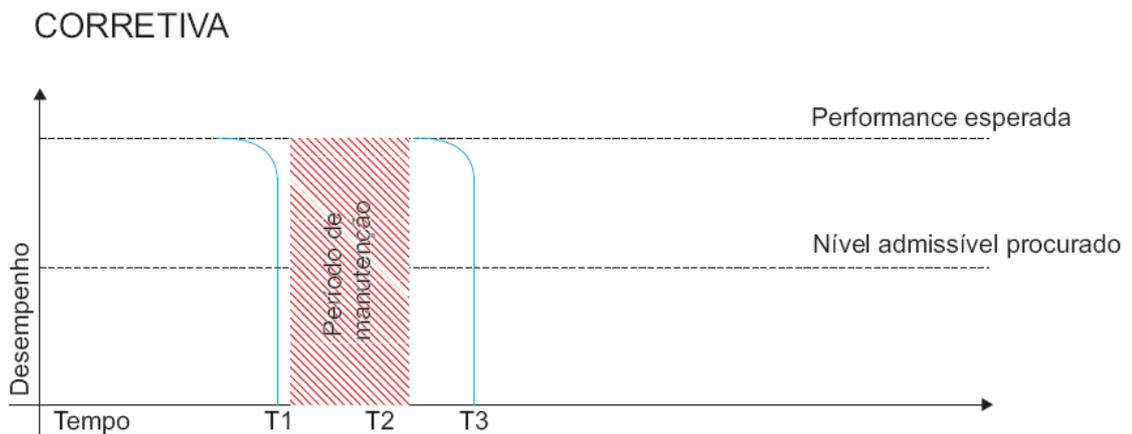
Fonte: [www.revistasespacias.com](http://www.revistasespacias.com).

#### 3.1 Manutenção corretiva

É aquela em que os consertos e reformas são realizados quando a máquina já está quebrada. O termo 'conserto' à manutenção corretiva tem como objetivo aumentar a margem de desgaste em peças e componentes e, com isso, a vida útil do equipamento através de métodos adequados de conserto, eliminando assim, pontos frágeis do equipamento. A manutenção corretiva existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deterioração de máquinas ou equipamentos. São os

consertos das partes que sofreram as falhas, podendo ser: reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento. O gráfico ilustra o processo de manutenção corretiva de um determinado equipamento ou sistema, onde se observa que o tempo até falha é aleatório e  $T_0 - T_1$  é diferente de  $T_2 - T_3$ .

Figura 2: Processo de manutenção corretiva



Fonte: [www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br).

Podemos citar entre as vantagens e desvantagens da manutenção corretiva o seguinte:

Vantagens:

- Não existem acompanhamentos e inspeções nas máquinas

Desvantagens:

- As máquinas podem quebrar-se durante os horários de produção

#### 4.1.1 Tipos de manutenção corretiva

**a) Manutenção corretiva não planejada:** Como ela não é planejada, geralmente implica em altos custos, pois a quebra inesperada pode gerar perdas de produção e de qualidade do produto.

**b) Manutenção corretiva planejada:** Ocorre quando percebemos que o equipamento não está trabalhando como deveria. Ela é mais barata, rápida e mais segura que a manutenção corretiva não planejada.

### 3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada antes da data provável do aparecimento de uma falha. Uma série de procedimentos, ações, atividades ou diretrizes que podem, ou não, ser adotados para se evitar, ou minimizar a necessidade e manutenção corretiva. Adotar a manutenção preventiva significa introduzir o fator qualidade no serviço de manutenção.

Como os outros tipos de manutenção, a preventiva também tem as suas vantagens e desvantagens:

**Vantagens:**

- a) Assegura a continuidade do funcionamento das máquinas, só parando para consertos em horas programadas;
- b) O navio terá maior facilidade para cumprir seus programas de produção.

**Desvantagens:**

- a) Requer um quadro (programa) bem montado;
- b) Requer um plano de manutenção.

É importante salientar que um Programa de Manutenção Preventiva (MP) somente deve ser iniciado após o grupo de manutenção adquirir alguma experiência em manutenção corretiva. Embora a manutenção preventiva seja necessária para ampliar a vida útil do equipamento com a consequente redução dos custos e aumento da sua segurança e desempenho, a limitação de recursos materiais, humanos e financeiros tem restringido o desenvolvimento de programas de manutenção preventiva em diversos grupos de manutenção.

Este trabalho apresenta uma metodologia bastante simples, em que são utilizados alguns critérios para seleção de equipamentos (priorização) que necessariamente devem fazer parte de um programa de manutenção preventiva. Independentemente dos critérios adotados para a priorização, será imprescindível a obtenção de um sistema de informações confiáveis sobre os custos atuais com a manutenção corretiva e o histórico de falhas dos equipamentos. Com essas

informações, pode-se dar mais atenção àqueles equipamentos mais caros e mais sujeitos a avarias.

#### **Quando utilizar?**

- a) Quando não for possível fazer a manutenção preditiva
- b) Se houver riscos de agressão ao meio ambiente
- c) Nos equipamentos fundamentais
- d) Nos sistemas complexos e/ou de operação contínua
- e) Quando o equipamento possui aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação

### **3.3 Manutenção detectiva**

Na década de 1990 o termo manutenção detectiva começou a ser utilizado. Manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Exemplo o botão de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis. Essa é a política adotada quando o processo possui subconjuntos nos quais é praticamente impossível detectar falhas antes que elas ocorram, buscando

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a fiabilidade. Em sistemas complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com treino e habilitação para tal, assistido pelo pessoal de operação. É cada vez maior a utilização de computadores digitais em instrumentação e controle de processo nos mais diversos tipos de plantas industriais.

São sistemas de aquisição de dados, controladores lógicos programáveis, sistemas digitais de controlo distribuídos – SDCD, multi-loops com computador supervisor e outra infinidade de arquiteturas de controlo somente possíveis com o advento de computadores de processo.

A principal diferença, é o nível de automatização. Na manutenção preditiva, faz-se necessário o diagnóstico a partir da medição de parâmetros; na manutenção detectiva, o diagnóstico é obtido de forma direta a partir do processamento das informações colhidas junto a planta. Há apenas que se considerar, a possibilidade de falha nos próprios sistemas de detecção de falhas, sendo esta possibilidade

muito remota. De uma forma ou de outra, a redução dos níveis de paradas indesejadas por manutenções não programadas, fica extremamente reduzida.

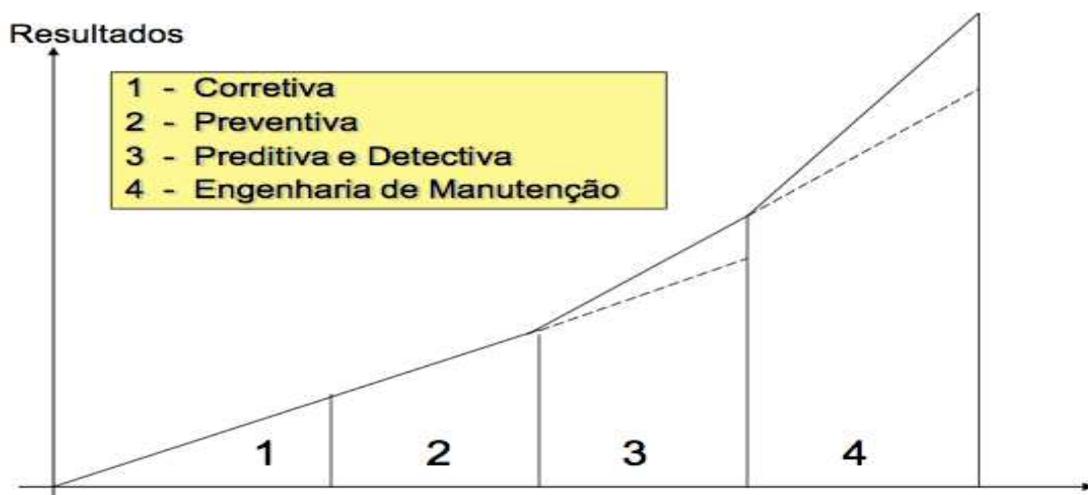
### 3.4 Manutenção preditiva

No decorrer do trabalho será feita uma abordagem mais ampla sobre manutenção preditiva, descrevendo as diversas técnicas e suas aplicações a bordo das embarcações.

### 3.5 Engenharia de manutenção

É uma nova concepção que constitui a segunda quebra de paradigma na manutenção. Praticar engenharia de manutenção é deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, das feedback ao projeto, interferir tecnicamente nas compras. Ainda mais: aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção de primeiro mundo.

Figura 3: Evolução dos Tipos de Manutenção



Fonte: [www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br).

O gráfico acima mostra a melhoria de resultados, à medida que se evolui dentre os tipos de manutenção. As duas mudanças de inclinação representam as

quebras de paradigma. Observe o salto significativo quando se adota engenharia de manutenção.

Em seguida temos alguns gráficos comparativos com relação aos diversos tipos de manutenção:

Tabela 1: Comparação de custos (1998)

Tipo de Manutenção	Custo US\$/HP/ano
Corretiva não planejada	17 a 18
Preventiva	11 a 13
Preditiva e Monitoramento de Condição/ Corretiva Planejada	7 a 9
Obs: HP (Horse Power) é a potencia instalada	

Fonte: [www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br).

Figura 4: Aplicação de Recursos de manutenção



Fonte: [www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br).

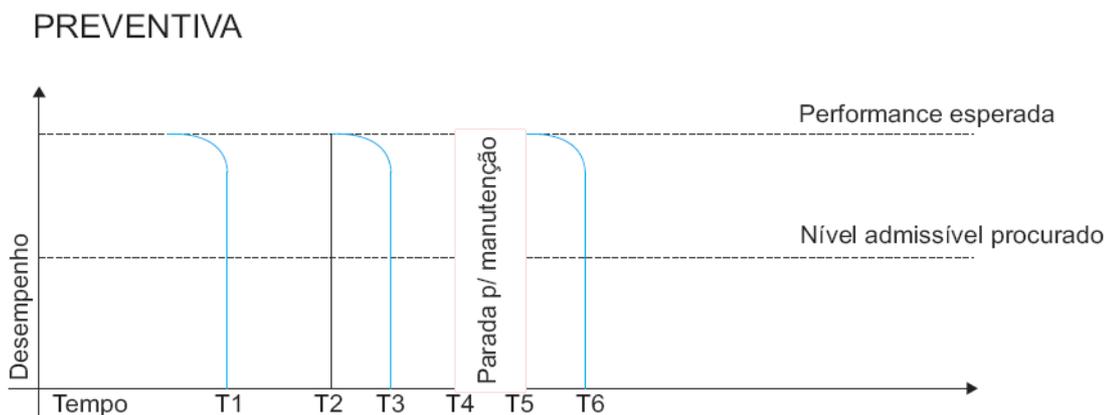
#### 4 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Acompanha-se a vida útil das máquinas efetuando-se inspeções periódicas, medições, leituras, sondagem, etc. Observa-se o comportamento das máquinas, verificando falhas ou detectando mudanças nas condições físicas, podendo-se prever com precisão o risco de quebra, permitindo assim a manutenção programada.

Manutenção preditiva é a monitoração ou acompanhamento periódico do desempenho e/ou deterioração de partes das máquinas. A finalidade é fazer-se a manutenção quando e se houver necessidade. Caso contrário, mexer na máquina o mínimo possível.

Entende-se por controle preditivo de manutenção a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção num equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade de o equipamento falhar assume valores indesejáveis. A intervenção de manutenção preditiva busca a detecção precoce dos sintomas que precedem uma avaria. São denominações equivalentes: manutenção baseada na condição ou manutenção baseada no estado ou manutenção condicional. O gráfico abaixo ilustra o processo de manutenção preditiva.

Figura 5: Processo de Manutenção preditiva



Fonte: [www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br).

Na manutenção preditiva as vantagens e as desvantagens são:

### **Vantagens**

a) Aproveita-se ao máximo a vida útil dos elementos das máquinas, podendo-se programar a reforma e substituição somente das peças comprometidas.

**Desvantagens:**

a) Requer acompanhamento e inspeções periódicas, através de instrumentos específicos de monitoração.

b) Requer profissionais especializados.

A manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se de um processo que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado. Assim, atua-se com base na modificação de parâmetro de condição ou desempenho do equipamento, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. A manutenção preditiva pode ser comparada a uma inspeção sistemática para o acompanhamento das condições dos equipamentos.

Quando é necessária a intervenção da manutenção no equipamento, a empresa estará realizando uma manutenção corretiva planejada. Os objetivos da manutenção preditiva são:

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

Por meio desses objetivos, pode-se deduzir que eles estão direcionados a uma finalidade maior e importante: redução de custos de manutenção e aumento da produtividade. Para ser executada, a manutenção preditiva exige a utilização de

aparelhos adequados, capazes de registrar vários fenômenos vibrações das máquinas; pressão; temperatura; desempenho; e aceleração.

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

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

- **Estudo das vibrações** – Todas as máquinas em funcionamento produzem vibrações que, aos poucos, levam-nas a um processo de deteriorização. Isso é caracterizado por uma modificação da distribuição de energia vibratória pelo conjunto dos elementos que constituem a máquina. Observando a evolução do nível de vibrações, é possível obter informações sobre o estado da máquina. O princípio de análise das vibrações baseia-se na ideia de que as estruturas das máquinas alteradas pelos esforços dinâmicos (ação de forças) dão sinais vibratórios, cuja frequência é igual à frequência dos agentes excitadores. Se captadores de vibrações forem colocados em pontos definidos da máquina, eles captarão as vibrações recebidas por toda a estrutura. O registro das vibrações e sua análise permitem identificar a origem dos esforços presentes em uma máquina operando. Por meio da medição e análise das vibrações de uma máquina em serviço normal de produção detecta-se, com antecipação, a presença de falhas que devem ser corrigidas: rolamentos deteriorados, engrenagens defeituosas, acoplamentos desalinhados, rotores desbalanceados, vínculos desajustados, eixos deformados, lubrificação deficiente, folga excessiva

em buchas, falta de rigidez, problemas aerodinâmicos, problemas hidráulicos e cavitação. O aparelho empregado para a análise de vibrações é conhecido como analisador de vibrações. No mercado há vários modelos de analisadores de vibrações, dos mais simples aos mais complexos; dos portáteis – que podem ser transportados manualmente de um lado para outro – até aqueles que são instalados definitivamente nas máquinas com a missão de executar monitoração constante.

Figura 6: Análise de vibrações



Fonte: [www.cete.pro.br](http://www.cete.pro.br).

- **Análise dos óleos** – Seus objetivos são dois: economizar lubrificantes e sanar os defeitos. Os modernos equipamentos permitem análises exatas e rápidas dos óleos utilizados em máquinas. É por meio das análises que o serviço de manutenção pode determinar o momento adequado para sua troca ou renovação, tanto em componentes mecânicos quanto hidráulicos. A economia é obtida regulando-se o grau de degradação ou de contaminação dos óleos. Essa regulação permite a otimização dos intervalos das trocas. A análise dos óleos

permite, também, identificar os primeiros sintomas de desgaste de um componente. A identificação é feita a partir do estudo das partículas sólidas que ficam misturadas com os óleos. Tais partículas sólidas são geradas pelo atrito dinâmico entre peças em contato. A análise dos óleos é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem vidrarias, reagentes, instrumentos e equipamentos. Entre os instrumentos e equipamentos utilizados temos viscosímetros, centrífugas, fotômetros de chama, peagômetros, espectrômetros, microscópios, etc. O laboratorista, usando técnicas adequadas, determina as propriedades dos óleos e o grau de seus contaminantes. As principais propriedades dos óleos que interessam em uma análise são: índice de viscosidade, índice de acidez, índice de alcalinidade, ponto de fulgor e ponto de congelamento. Em termos de contaminação dos óleos, interessa saber quanto existe de: resíduos de carbono, partículas metálicas e água. Assim como no estudo das vibrações, a análise dos óleos é muito importante na manutenção preditiva. É a análise que vai dizer se o óleo de uma máquina ou equipamento precisa ou não ser substituído e quando isso deverá ser feito.

- **Análise do estado das superfícies** – Ao analisar as superfícies das peças, sujeitas aos desgastes provocados pelo atrito, pode-se controlar o grau de deteriorização das máquinas e equipamentos. A análise superficial abrange, além do simples exame visual – com ou sem lupa – várias técnicas analíticas: endoscopia, holografia, estroboscopia e molde e impressão.
  
- **Análise estrutural** – É por meio da análise estrutural que se detecta, por exemplo, a existência de fissuras, trincas e bolhas nas peças das máquinas e equipamentos. Em uniões soldadas, a análise estrutural é de extrema importância. As técnicas utilizadas na análise estrutural são: interferometria holográfica, ultrassonografia, radiografia (raios X), gamagrafia (raios gama) e ecografia. A coleta de dados deve ser efetuada periodicamente por um técnico que utiliza sistemas portáteis de monitoramento. As informações recolhidas são registradas numa ficha, possibilitando ao responsável pela manutenção preditiva tê-las em mãos para as providências cabíveis. A periodicidade dos controles é determinada de acordo com os seguintes fatores: número de máquinas a serem

controladas, número de pontos de medição estabelecidos, duração da utilização da instalação, carácter estratégico das máquinas instaladas e meios materiais colocados à disposição para a execução dos serviços.

- **Análise de temperatura** - A temperatura é um dos parâmetros de mais fácil compreensão e o acompanhamento de sua variação permite constatar alteração na condição dos equipamentos, componentes e do próprio processo produtivo. A seguir estão listados alguns exemplos clássicos, onde a monitoração da temperatura é primordial:

- Temperatura de mancais de máquinas rotativas;
- Temperatura da superfície de equipamentos estacionários;
- Temperatura de barramentos e ligações (conexões) elétricas.

A medição de temperatura pode ser feita por uma série de instrumentos, alguns dos quais estão listados a seguir:

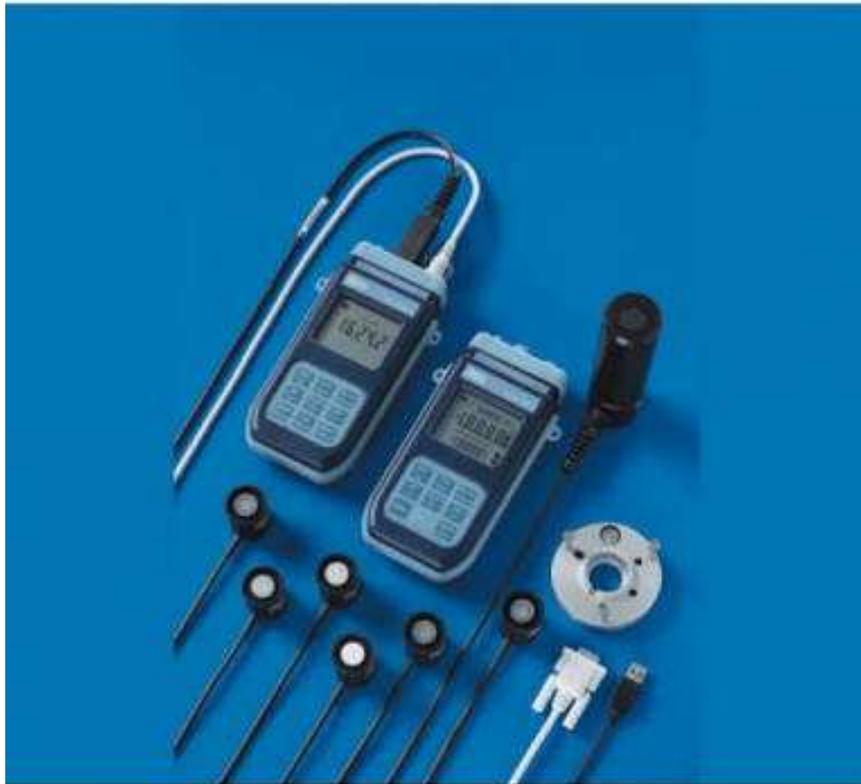
- a) Termômetro de contato;
- b) Pirômetro de radiação ou pirômetro ótico;
- c) Radiômetro;
- d) Termógrafos ou termovisores.

Uma das técnicas preditivas que proporciona maior retorno e evita a ocorrência de acidentes ou paradas de produção é a termografia em instalações elétricas. O mau contato, a partir do qual se desencadeia a falha, pode ser detectado e corrigido pela utilização de radiômetros ou de termovisores.

Por sua relevância para a manutenção, tanto em indústrias como em instalações prediais, é altamente recomendável a existência de um programa de acompanhamento das instalações elétricas.

- Radiômetro - São instrumentos que coletam a radiação infravermelha por meio de um sistema ótico fixo e a direciona para um detector que pode ser do tipo termopilha, pirlétrico ou fotodetectores. São instrumentos portáteis, de custo baixo que, fornecidos a um electricista que conhece a planta, guiado por um programa de inspeções periódicas, fornece excelentes resultados.

Figura 7: Radiômetro



Fonte: [WWW.termopaineissuf.blogspot.com](http://WWW.termopaineissuf.blogspot.com).

- **Termografia** - é uma das técnicas preditivas que mais tem se desenvolvido no últimos 30 anos. Atualmente, os termovisores estão cada vez menores e mais precisos, oferecendo recursos importantes para o acompanhamento e controle de tendência.

Algumas das principais aplicações da termografia em instalações industriais são:

- a) Área elétrica onde existe necessidade de acompanhamento de componentes defeituoso ou mau contato;
- b) Usinas siderúrgicas – verificação do revestimento de altos-fornos, dutos de gás, regeneradores e carros torpedos;

- c) Fábricas de cimento – fornos rotativos para pesquisa de queda de refratários;
- d) Área de petróleo e petroquímica – vazamentos em válvulas de segurança, problemas com refratários em fornos, caldeiras e unidades de craqueamento catalítico.

Figura 8: Termográfica (sensoriamento em painéis elétricos)



Fonte: [www.termopaineissusf.blogspot.com](http://www.termopaineissusf.blogspot.com).

A tabela 2 mostra um exemplo de um programa básico de vigilância, de acordo com a experiência e histórico de uma determinada máquina.

Tabela 2: Programa Básico de Vigilância

PROGRAMA BÁSICO DE VIGILÂNCIA			
Métodos Utilizados	Equipamentos Vigeados	Equipamentos Necessários	Periodicidade de Verificação
Medição de vibração	Todas as máquinas giratórias de potência média ou máxima e/ou equipamentos críticos: motores; redutores; compressores; bombas e ventilação	Medidor de vibração Analisador Sistema de vigilância permanente	3.000 a 1.500 horas
Medição das falhas de rolamentos	Todos os rolamentos	Medidos especial ou analisador	500 horas
Análise estroboscópica	Todos os lugares onde se quiser estudar um movimento, controlar a velocidade ou medir os planos	Estroboscópio do analisador de vibrações	Segundo a necessidade
Análise dos óleos	Redutores e circuitos hidráulicos; Motores	Feita pelo fabricante	6 meses
Termografia	Equipamentos de alta-tensão; Distribuição de baixa-tensão; Componentes eletrônicos; Equipamentos com componentes refratários	Subcontratação ("terceirização")	12 meses
Exame endoscópico	Cilindros de compressores; Aletas; Engrenagens danificadas	Endoscopia + fotos	todos os meses

Já as técnicas preditivas em suas categorias são indicadas na tabela 3. Algumas técnicas de Ensaios Não Destrutivos (END), listadas na tabela, só podem ser aplicadas com o equipamento fora de operação, o que invalidaria a condição de que as técnicas preditivas são aplicáveis com o equipamento em funcionamento. Para melhor visualização considerar que as técnicas listadas nos quadros em laranja são aplicáveis com o equipamento em operação enquanto as contidas nos quadros verdes dependem (em geral) da retirada do equipamento de operação para sua realização.

Tabela 3: Técnicas preditivas

<b>Radiações ionizantes</b> Raios X Gamagrafia	<b>Energia Acústica</b> Ultrassom, Emissão Acústica
<b>Energia eletromagnética</b> Partículas magnéticas correntes parasíticas	<b>Fenômenos de viscosidade</b> (Líquidos penetrantes)
<b>Inspeção visual</b> Endoscopia ou Boroscopia	<b>Análise de Vibrações</b> Nível global, Espectro de vibrações Pulso de choque
<b>Detecção de vazamentos</b>	
<b>Análise de Óleos lubrificantes ou isolantes</b> Viscosidade, Número de Neutralização Acidez ou Basicidade, Teor de água Insolúveis, Contagem de partículas Metais por Espectrometria por Infravermelho Cromatografia gasosa, Tensão Interfacial, Rigidez Dielétrica, Ponto de Fulgor	<b>Análise de temperatura - Termometria</b> Termometria convencional Indicadores de temperatura Pirometria de radiação Termografia
<b>Ferrografia</b> Ferrografia quantitativa Ferrografia analítica	<b>Verificações de geometria</b> Metrologia convencional Alinhamento de máquinas rotativas
<b>Ensaio Elétricos</b> Corrente, Tensão, Isolamento Perdas Dielétricas, Rigidez Dielétrica, Espectro de corrente ou tensão	<b>Forças</b> Células de carga, Teste de pressão, Teste hidrostático, Teste de vácuo, Detecção de trincas

#### 4.1 Manutenção preditiva aplicada em embarcações

A manutenção preditiva é uma ferramenta de grande importância na prevenção de paradas não programadas em equipamentos fundamentais, como: motor de combustão principal, motor de combustão auxiliares, thrusters, redutoras, compressores, bombas e entre outros equipamentos.

A tabela 4 mostra a aplicação de algumas técnicas de manutenção preditiva em equipamentos a bordo de embarcações.

Tabela 4: Técnicas de manutenções preditivas a bordo de embarcações

Motor Principal	Inspeção Visual, Análise de Óleos lubrificantes, Análise de temperatura
Motor Auxiliar	Inspeção Visual, Análise de Óleos lubrificantes, Análise de temperatura
Thrusters	Inspeção Visual (boroscopia), Análise de Óleos lubrificantes e hidráulicos
Redutoras	Inspeção Visual, Análise de Óleos Hidráulicos
Compressores	Inspeção Visual, Análise de Óleos lubrificantes, Análise de vibrações
Motores Elétricos	Análise de vibrações, Análise de temperatura
Geradores	Ensaio elétrico, Análise de temperatura

Fonte: Estudos realizados a bordo de embarcações.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Decorrente do estudo abordado neste trabalho faz-se necessário ressaltar que a manutenção preditiva realizada a bordo dos navios mercantes são de suma importância para evitar possíveis paradas.

Tendo em vista um bom aproveitamento de tais manutenções destaca-se a importância da atuação dos líderes de bordo, como o Comandante e Chefe de Máquinas, para mantê-las em seus planejamentos e regular a periodicidade de suas execuções. Desta forma, consegue-se obter resultados satisfatórios à bordo, tanto para proteção do maquinário do navio, como para a segurança de toda a tripulação.

O uso da manutenção preditiva está relacionado à programação da manutenção, buscando sempre o ponto a partir do qual a probabilidade de o equipamento falhar assume valores indesejáveis.

O ganho real do uso da manutenção preditiva é o aumento da produtividade, a diminuição dos custos, que além de refletir em benefícios para a manutenção, alimentam o custo da empresa que por consequência alimenta todo o financeiro a pagar, através de gastos com peças na manutenção, estoques mínimos necessários, mão de obra e previsões de perda com a hora parada.

## REFERÊNCIAS

ABRAMAN (2005), Associação Brasileira de Manutenção. Disponível em: <[www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br)>. Acesso em: 05 jun. 2016.

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção preditiva**: caminho para zero defeitos. Makron Books-McGraw-Hill. 1991.

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção preditiva**. Makron Books. São Paulo. 1996.

DPC, Ministério da Marinha. **Máquinas de Combustão Interna I**.