

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE WANDENKOLK

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
PROPULSÃO NAVAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALINHAMENTO DE LINHAS DE EIXO DE NAVIOS: estudo dos métodos de alinhamento
e do seu emprego na Marinha do Brasil

1º TENENTE (QC-CA) ADRIANO LEITE GOMES

Rio de Janeiro
2018

1º TENENTE (QC-CA) ADRIANO LEITE GOMES

ALINHAMENTO DE LINHAS DE EIXO DE NAVIOS: estudo dos métodos de alinhamento
e do seu emprego na Marinha do Brasil

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Wandenkolk como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Propulsão Naval.

Orientadores:

CAlte (EN-REF.) DSc Tiudorico Leite Barboza

Prof. DSc Luiz Augusto R. Baptista

CIAW
Rio de Janeiro
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

1º TENENTE (QC-CA) ADRIANO LEITE GOMES

ALINHAMENTO DE LINHAS DE EIXO DE NAVIOS: estudo dos métodos de alinhamento e do seu emprego na Marinha do Brasil

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

CAIte (EN-REF.) DSc Tiudorico Leite Barboza _____

Prof. DSc Luiz Augusto R. Baptista _____

Prof. DSc César Augusto Lampe Linhares da Fonseca _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu força e principalmente saúde para concluir mais essa etapa na minha vida profissional.

Agradeço também a minha família pela paciência e apoio nos momentos difíceis que o curso exigiu.

Aos professores da UFRJ pelo esforço e dedicação em transmitir todo o conhecimento aos alunos. E tenham certeza de que todo o ensinamento será utilizado da melhor maneira possível.

Aos meus orientadores, Contra-Almirante (EN-REF.) Tiudorico pelo ensinamento, paciência, disponibilidade e orientações, bem como o Engenheiro Luiz Augusto com toda a experiência e auxílio.

Por fim, não poderia deixar de agradecer a Marinha do Brasil e o CIAW pelo Curso de Aperfeiçoamento Avançado. Oportunidade única e privilegiada em poder ter realizado este curso. Todo o conhecimento adquirido será utilizado da melhor maneira possível a fim de contribuir com o crescimento da Pátria.

ALINHAMENTO DE LINHAS DE EIXO DE NAVIOS: estudo dos métodos de alinhamento
e do seu emprego na Marinha do Brasil

Resumo

Assim como em qualquer meio de transporte, disponibilidade, confiabilidade e segurança são palavras essenciais que devem ter destaque quando se fala em qualquer tipo de embarcação. Neste contexto, existem alguns sintomas que não são visíveis ao olhar humano que podem comprometer a base desse tripé. Pode-se citar o alinhamento de linhas de eixos de navios, um problema recorrente em qualquer tipo de embarcação e precisa de uma atenção especial por todos aqueles que estão direta ou indiretamente envolvidos com o meio. Assim, no decorrer deste trabalho serão estudados os diversos métodos e técnicas de alinhamento de linhas de eixos, bem como os tipos de manutenção e a sua importância para identificar, analisar e solucionar um problema mecânico. Diante disso, serão identificados os métodos de alinhamento de linhas de eixo utilizados pela Marinha do Brasil e compará-los com os que existem no mercado.

Palavras-chave: Alinhamento de linhas de eixo, Manutenção, Marinha do Brasil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Deflexão natural do eixo sob o peso próprio.	10
Figura 2– Relação ângulo, folga e diâmetro de trabalho.	10
Figura 3–Ilustração de desalinhamento de eixos.	11
Figura 4–Parâmetros de alinhamento.	11
Figura 5–Gráfico de tolerância de alinhamento.	12
Figura 6–Principais causas de avarias em máquinas.	13
Figura 7– Curva da banheira.	18
Figura 8–GAP-SAG.	23
Figura 9–Arranjo entre flanges.	25
Figura 10–Alinhamento ótico.	26
Figura 11–Alinhamento ótico.	26
Figura 12– Corda de Piano.	27
Figura 13– Macaco hidráulico em conjunto com uma célula de carga.	28
Figura 14– Instalação do Macaco hidráulico.	29
Figura 15–Instalação de strain gauge.	31
Figura 16–Pontos de medição do sistema de propulsão.	32
Figura 17–Fotografia dos pontos de medição dos mancais da linha de eixo.	33
Figura 18–Nível de vibração para o MCP na condição de operação de 60% da demanda.	33
Figura 19– Imagem de um eixo propulsor na oficina.	34
Figura 20 – Imagem de um relógio comparador utilizado nas oficinas.	34

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
1.1	Apresentação do Problema.....	7
1.2	Justificativa e Relevância.....	7
1.3	Objetivos	8
1.3.1	Objetivo Geral	8
1.3.2	Objetivo Específico	8
1.4	Metodologia	8
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	Alinhamento das linhas de eixo	9
2.1.1	Causas de avarias nas linhas de eixo	12
2.1.2	Importância do alinhamento da linha de eixo de navio.....	14
2.2	Manutenção da linha de eixo.....	15
2.2.1	Conceitos gerais de manutenção	15
2.2.2	Monitoração da vibração da linha de eixo	20
3.	ESTUDO DE CASO	22
3.1	Principais Métodos de alinhamento de eixo.....	22
3.1.1	Método GAP-SAG	23
3.1.2	Método Ótico ou a Laser.....	25
3.1.3	Método Jack-up.....	27
3.1.4	Extensometria ou Método Strain Gauge	30
3.2	Alinhamento de linhas de eixo em navios da Marinha do Brasil.....	31
4.	CONCLUSÃO	35
4.1	Sugestões para Futuros Trabalhos.....	35
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

Com a constante evolução da tecnologia no cenário brasileiro e mundial, cada vez mais são exigidos novos projetos, técnicas e estudos para que a sociedade possa usufruir direta ou indiretamente. E no ramo da Propulsão Naval não é diferente, seja na área mercante ou militar.

Baseado nessa utilização frequente dos navios, um estudo do sistema propulsivo como um todo é de extrema importância, tal como a manutenção.

Assim sendo, diversos problemas podem ocorrer com o meio naval e um dos mais importante é o excesso de vibração, que pode ser gerado por diversos fatores, entre eles a quebra ou desalinhamento da linha de eixo de um navio.

1.1 Apresentação do Problema

A linha de eixo de qualquer embarcação é uma das principais preocupações dos projetistas e maquinistas, pois além de transmitir potência entre o hélice e o motor, possui o seu peso próprio, sendo responsável por gerar esforços axiais e radiais nos mancais.

Um mau funcionamento, como um problema de desalinhamento, acarreta em uma má utilização dos diversos equipamentos e componentes de um navio, que anteriormente foram projetados para serem utilizados com máxima eficiência.

Com isso, há uma necessidade indesejada em deixar o meio inoperante e realizar técnicas de manutenções para descobrir a causa do problema e solucioná-lo da forma mais rápida possível.

1.2 Justificativa e Relevância

Devido à necessidade de manter os meios em constante estado de operação, uma manutenção preventiva e preditiva muitas vezes não é realizada de maneira adequada, agravando dessa forma problemas de desalinhamento das linhas de eixo.

Assim, reduzir gastos com a realização da manutenção corretiva e evitar que os navios da Marinha do Brasil permaneçam inoperantes de forma indesejada se torna a principal tarefa de todo aqueles envolvidos diretamente com os meios operativos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo dos principais métodos de alinhamento de linhas de eixo de navios comparando-os com os métodos utilizados pela Marinha do Brasil, bem como as ações realizadas pela própria tripulação do navio e Organizações Militares Prestadoras de Serviços (OMPS) baseadas na manutenção preventiva e preditiva de forma a prever um possível problema de desalinhamento de linhas de eixo

1.3.2 Objetivo Específico

Realizar uma análise baseada em métodos de alinhamento de linhas de eixos executados pela Marinha do Brasil a fim de que sejam solucionados problemas de desalinhamento de linhas de eixos nos seus navios.

1.4 Metodologia

Para realização deste trabalho foi realizada consulta a normas, manuais, livros e artigos a respeito dos principais métodos de alinhamentos de linhas de eixos de navios. Foi realizada também pesquisa ao histórico do problema de desalinhamento de linhas de eixo em navios da Marinha do Brasil, visitas às oficinas, além de consultas a engenheiros e técnicos experientes no assunto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Alinhamento das linhas de eixo

O desalinhamento de eixo é uma falha bastante comum que se reflete no mau funcionamento de uma máquina. Para se ter uma ideia, uma máquina que não esteja alinhada pode representar para uma fábrica um prejuízo de 20% a 30% com reposição de peças, estoque e trabalho extra para seus funcionários entre outros fatores. Uma simples prática de manutenção, como a verificação regular de alinhamento da linha de eixo é capaz de estender a vida útil das peças, otimizando assim o processo de produção (GANERIWALA, PATEL E HARTUNG, 1999).

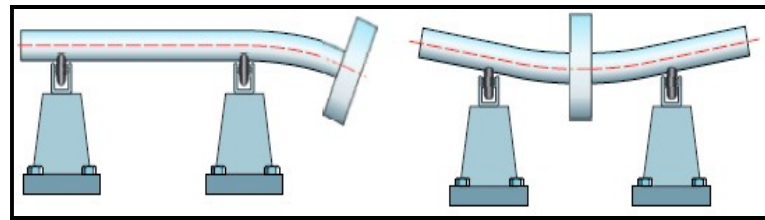
No que se refere à linha de eixos da área marítima, é sugerido que os mancais que suportam os eixos sejam alinhados tendo como referência uma linha reta imaginária, já que o deslocamento de um mancal em relação ao outro poderia fletir o eixo. Porém, é inviável conseguir manter este aspecto, pois os mancais do eixo de um navio se movem de acordo com as condições de mudanças constantes do estado do mar, além de que o peso próprio do eixo, bem como o peso do hélice e outros componentes conectados causam um desvio no alinhamento (SNAME, 2007).

Desse modo, ainda segundo SNAME (2007), as posições dos mancais devem ser ajustadas de modo que o limite estabelecido para garantir uma operação adequada de todo o sistema não seja prejudicado nas condições normais em que o navio estiver operando. Assim, pode-se considerar que o alinhamento de eixo de navio pode ser chamado também de alinhamento dos mancais, já que o alinhamento é resultado da posição dos mancais que suportam o eixo.

O alinhamento de eixo é o processo por meio do qual duas ou mais máquinas são posicionadas de modo que o ponto onde ocorre transferência de potência no eixo, entre ambas as máquinas, devem ser colineares quando o equipamento estiver funcionando em condições normais (PRUFTECHNIK LTDA, 2002).

Nesse contexto, a deflexão de um eixo depende de vários fatores, como a sua rigidez, a quantidade de peso por ele suportado, os tipos de mancais e a distância entre os suportes, como pode-se observar na figura 1.

Figura 1 – Deflexão natural do eixo sob o peso próprio.

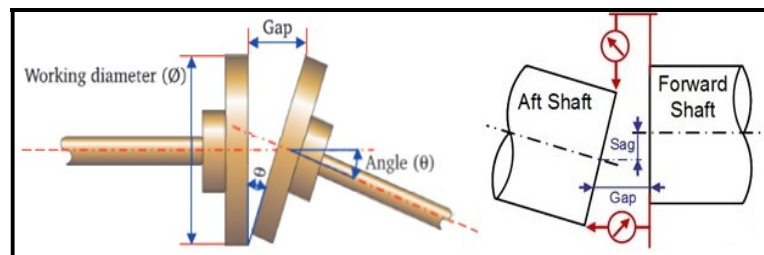


Fonte: PRUFTECNİK LTDA (2002).

Como o alinhamento do eixo precisa ser medido e posteriormente corrigido, são comumente utilizados quatro métodos de fácil abordagem para estimar os valores e expressar o quão fora dos padrões ele se encontra: medida angular horizontal, medida angular vertical, paralelismo horizontal e paralelismo vertical.

Angularidade: Nada mais é do que descrever o ângulo entre dois eixos rotativos. Pode ser expressa diretamente em ângulos. Este ângulo é medido em relação à folga por diâmetro, como mostra a figura 2 (Pruftecnik LTDA, 2002).

Figura 2 – Relação ângulo, folga e diâmetro de trabalho.

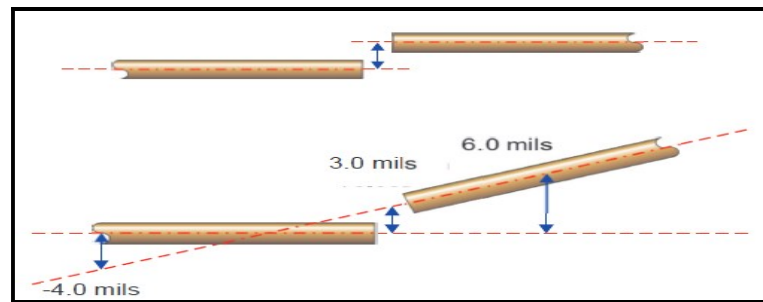


Fonte: PRUFTECNİK LTDA (2002).

Paralelismo: Descreve a distância entre eixos de rotação em um determinado ponto (PRUFTECNİK LTDA, 2002).

De acordo com a figura 3, o valor do deslocamento do eixo pode variar para a mesma condição de alinhamento, dependendo da localização onde a distância entre os dois eixos de rotação é medida.

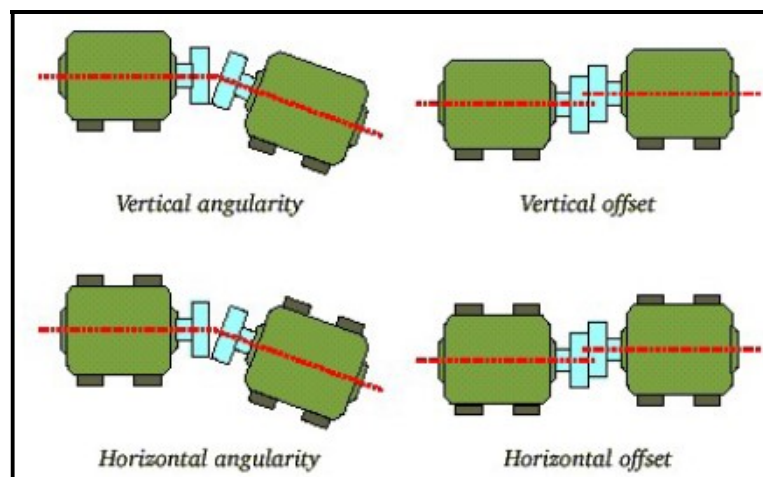
Figura 3—Ilustração de desalinhamento de eixos.



Fonte: PRUFTECNİK LTDA (2002).

Portanto, de forma simples e direta, em uma boa avaliação do desalinhamento de eixo de uma máquina pode-se observar nas situações mostradas na figura 4.

Figura 4—Parâmetros de alinhamento.



Fonte: PRUFTECNİK LTDA (2002).

Como verificado, uma máquina não atingirá a sua eficiência de projeto caso o seu eixo esteja desalinhado, portanto, Towsley (2009), exemplifica alguns efeitos que o desalinhamento da linha de eixos pode incluir:

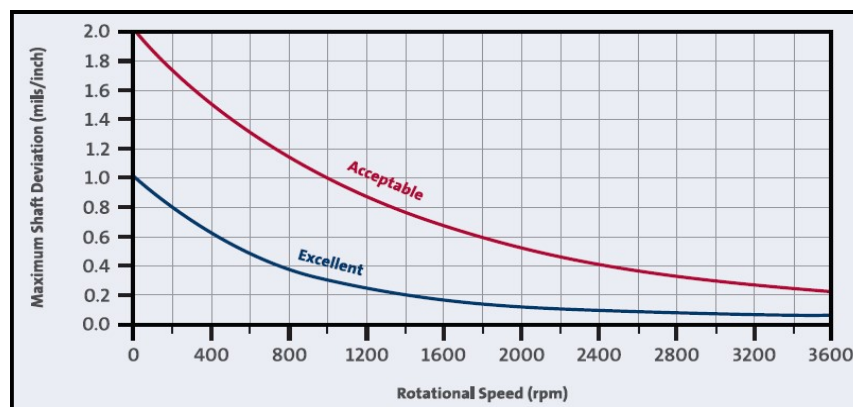
- Redução da vida útil do componente devido a um desalinhamento que provoca altas temperaturas ou até mesmo vazamento de óleo;
- Falha dos selos mecânicos devido ao alinhamento fora dos padrões dos fabricantes dos selos mecânicos;
- Falha ou quebra do eixo que pode ocorrer se o equipamento estiver muito desalinhado;
- Acoplamentos mais resistentes e mais bem projetados se desgastam com facilidade;

- Componentes com folgas internas dentro de bombas, propulsores, anéis de desgaste podem se desgastar prematuramente;
- Bombas, acionadores ou outros equipamentos podem operar com ruído excessivo ou fora do normal;
- Vibração também pode ser observada devido ao desalinhamento, entretanto, os dados de vibrações devem ser analisados separadamente.

É preciso ter bastante cuidado antes que se possa afirmar que o desalinhamento da linha de eixo é a causa de uma falha. A causa pode ser uma deficiência mecânica. Deficiências nos componentes do acoplamento também podem fazer com que o equipamento fique desalinhado. Caso a máquina não permaneça alinhada elevando-se em relação aos efeitos da mudança de temperatura, o equipamento pode se expandir durante a operação e ficar desalinhado.

Outro ponto a ser observado é no momento da instalação. A empresa contratada deve ter total capacidade e seus funcionários muito bem treinados para instalar o equipamento de maneira adequada. Por isso, normalmente é especificado um alinhamento aceitável pelo fabricante onde mostra a diretriz para quem estiver instalando. Tais dados podem ser verificados em gráficos semelhantes ao da figura 5.

Figura 5–Gráfico de tolerância de alinhamento.



Fonte: TOWSLEY(2009).

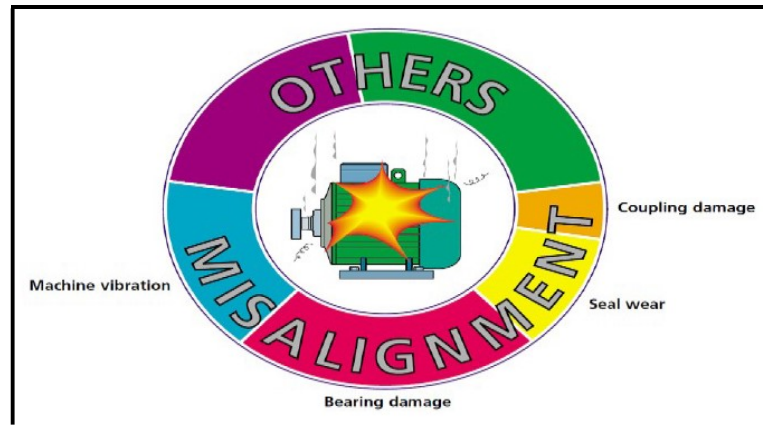
2.1.1 Causas de avarias nas linhas de eixo

A paralisação indesejada de uma máquina pode representar grandes prejuízos para uma empresa, seja financeiro, material ou pessoal. Entretanto, quando ocorre este tipo de

problema, a principal tarefa é descobrir o foco, eliminar e garantir que nunca mais este problema volte a acontecer.

Nesse contexto, o problema de desalinhamento de eixo representa mais da metade dos problemas de manutenção (PRUFTECNİK LTDA, 2002) como pode ser observado na figura 6.

Figura 6—Principais causas de avarias em máquinas.



Fonte: PRUFTECNİK LTDA (2002).

Com base nisso, Pruftecnik LTDA (2002) cita alguns parâmetros importantes que precisam ser estudados.

a) Mancais anti-fricção:

Componentes projetados para operar com lubrificação limpa e temperaturas operacionais constantes, não suportam longos períodos em operação com níveis elevados de temperatura causadas por desalinhamento.

Não resiste a contaminação causada pela falha do selo mecânico quando permite a entrada de sujeira, areia, elementos metálicos etc.

Por conta dos danos causados pelo próprio desalinhamento, os mancais precisam muitas vezes ser reinstalados ou até mesmo substituídos. Alguns fabricantes recomendam a troca de todo o conjunto do equipamento, pois assim serão evitados pequenos resquícios de avarias que aumentam progressivamente com o tempo.

b) Selo mecânico:

Item de custo elevado e que sofre desgaste devido a carga do eixo terá a sua vida útil reduzida caso o eixo esteja desalinhado ou se o mesmo for instalado de maneira incorreta.

Sua falha ocorre de maneira catastrófica, ou seja, sem aviso prévio, obrigando dessa forma a substituição de todos os componentes de vedação.

c) Vibração em máquinas:

A vibração aumenta conforme o desalinhamento. A alta vibração provoca fadiga nos componentes da máquina e conseqüentemente a falha indesejada.

Detectar o desalinhamento em máquinas que estejam em funcionamento é uma das tarefas mais difíceis para um maquinista, pois as forças que são transmitidas através dos eixos são de difícil medição externa. Por isso, Fixturlaser (2003), cita alguns sintomas que podem indicar o desalinhamento de um equipamento:

- Falha prematura de mancal, acoplamento e vedações;
- Vibrações radiais e axiais excessivas;
- Elevadas temperaturas nos mancais, óleo e no acoplamento;
- Vazamento de óleo nas vedações dos mancais;
- Parafusos frouxos ou quebrados;
- Quantidade excessiva de graxa ou óleo dentro das proteções do acoplamento;

2.1.2 Importância do alinhamento da linha de eixo de navio

Verificações regulares do alinhamento da linha de eixo do navio são essenciais para a operação confiável desse navio, pois no sistema de eixo, existem múltiplos mancais espaçados. As disposições devem ser ajustadas de maneira que as cargas nos mancais e as tensões do eixo estejam dentro dos limites aceitáveis (SNAME, 2007).

- a) O alinhamento adequado do eixo é necessário para o correto alinhamento da engrenagem redutora e seus componentes, pois um dos principais objetivos é garantir que o motor principal conectado a ela esteja alinhado e dentro dos limites definidos pelos fabricantes da engrenagem ou do motor;
- b) Um correto alinhamento evita sobrecarga dos mancais no sistema de eixo, já que os mancais possuem uma carga de tensão máxima admissível pré-determinada;
- c) Um correto alinhamento evita a vibração excessiva, uma vez que o mancal de sustentação pode ficar levemente carregado. Com isso, o navio pode vir a

sofrer impactos no mancal, passando da condição de carregado para descarregado a cada revolução do eixo;

- d) O alinhamento adequado evita a falha do eixo devido a esforços excessivos de flexão, pois os sistemas de eixos são projetados para atingir determinados níveis de flexão do eixo, levando até mesmo a uma eventual falha por fadiga caso ultrapasse esses limites.

Logicamente, os benefícios citados acima são sempre o objetivo final de um projetista ou de quem trabalha diretamente realizando manutenções de máquinas. Assim, os sistemas de eixos são projetados para atingir os seguintes critérios em condições normais de operação de um navio (SNAME, 2007).

- a) A tensão máxima admissível no mancal da roda dentada na engrenagem redutora não deve ser excedida de forma a garantir o contato entre ambas;
- b) Nenhum mancal do sistema deve sofrer uma carga acima da sua carga máxima de trabalho;
- c) Nenhum mancal do sistema deve ser carregado com uma carga menor que a mínima permitida, uma vez que uma carga mínima é essencial para estabilizar o mancal no eixo, evitando problemas de vibração;
- d) Tensões máximas permitidas nos eixos não devem ser excedidas, pois é um critério de alta prioridade já que o eixo pode vir a falhar devido a esforços excessivos de flexão;
- e) Tolerâncias de alinhamento de projeto para motores conectados diretamente nos acoplamentos ou outros equipamentos não devem ser excedidos de forma a evitar deflexões no virabrequim

2.2 Manutenção da linha de eixo

2.2.1 Conceitos gerais de manutenção

Nos dias atuais, o mercado de trabalho, seja em qualquer área, requer um profissional que tenha aliado o conhecimento prático de tudo que acontece no dia a dia, com a capacidade de efetuar a análise da solução mais adequada e indicada para um determinado problema. Além disso, espera-se que o problema seja resolvido naquele instante e não ocorra mais, ou se vier a ocorrer, possa ser previsto e solucionado, gerando dessa forma economia de tempo, dinheiro, mão-de-obra e principalmente manutenção da vida útil do equipamento (SENAI, 2010).

Ainda segundo SENAI (2010), a manutenção, seja direta ou indiretamente, faz parte do contexto da competitividade das organizações no mercado em que atuam, pois não é permitido mais a existência de uma organização competitiva sem que se leve em consideração a otimização, disponibilidade das máquinas, a maximização dos lucros, a satisfação dos clientes e sobretudo a confiabilidade dos produtos.

Sendo assim, é de suma importância para estudo do presente trabalho uma abordagem geral dos principais tipos de manutenção existentes e que são praticados nas diversas organizações.

Manutenção Corretiva

“É aquela que é efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida” (VIANA, 2002).

A manutenção corretiva consiste em nada mais do que nas ações que são realizadas com a finalidade de restaurar um equipamento ou sistema com falha no seu sistema operacional. Esse tipo de manutenção normalmente envolve a substituição ou reparo do componente que causou a falha do sistema como um todo. A manutenção corretiva é executada em intervalos imprevisíveis, pois o tempo de falha do componente não é conhecido. Dessa forma, o equipamento retorna ao seu estado operacional após a manutenção corretiva ou até que os reparos venham a ser realizados. Assim, Krishna (2008), cita que a manutenção corretiva é realizada em três etapas:

- a) Diagnóstico de falha: A falha ou componente defeituoso leva um certo tempo para ser detectada, bem como avaliar de maneira satisfatória a causa do defeito ou falha do sistema.
- b) Reparo ou substituição de componentes defeituosos: Uma vez que a causa da falha no equipamento é detectada, algumas ações são tomadas para eliminar a causa, geralmente substituindo ou reparando os componentes que causaram a falha do equipamento.
- c) Verificação da ação de reparo: Logo após os componentes defeituosos terem sido reparados ou substituídos, a equipe de reparo deve verificar se o sistema está operando novamente de maneira satisfatória.

Dentro desse contexto, a manutenção corretiva pode ser classificada em manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva não planejada.

Manutenção corretiva planejada: é aquela em que a falha exposta pelo equipamento não exige uma parada obrigatória, nem apresenta prejuízos em seu rendimento. Nesse tipo de caso, o conserto pode ser efetuado no instante em que o equipamento não estiver em funcionamento (SENAI, 2010).

Manutenção corretiva não planejada: é aquela em que o tipo de falha ocorre de maneira inopinada, caracterizando-se pela falha completa do equipamento, pela quebra ou até mesmo pela falha de um componente que impede o seu pleno funcionamento. Nesses casos, não há escolha a não ser o reparo imediato (SENAI, 2010).

Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é todo aquele serviço de manutenção que é realizado em máquinas que não estejam em falha, ou seja, que estão em estado zero de defeito (VIANA, 2002).

Existem diversas definições de manutenção preventiva, porém todos os programas de gerenciamento de manutenção preventiva envolvem a variável tempo. Ou seja, as tarefas de manutenção são baseadas nas horas de funcionamento do equipamento ou no tempo decorrido (MOBLEY, 2004).

O planejamento e a organização formam a base do método preventivo. Assim, relatórios escritos e arquivados sobre trabalhos anteriormente realizado auxiliam a suprimir inconveniências de quebras inesperadas.

Conforme mencionado, esse tipo de manutenção é baseado na prevenção de defeitos que possam dar origem a parada ou rendimento abaixo do esperado de um equipamento que esteja em operação. SENAI (2010) cita que a manutenção preventiva leva em consideração a análise dos seguintes itens:

- Estudos estatísticos;
- Estado do equipamento;
- Local de instalação;
- Dados fornecidos pelo fabricante.

No estudo estatístico são levados em consideração todo o histórico do equipamento. Dessa forma, é possível utilizar indicadores como o tempo médio entre falhas e ferramentas, tais como o controle estatístico de processo, realizando análise dos dados

coletados no equipamento, avaliando se os componentes estão operando dentro de um regime aceitável de tolerância de variação do rendimento.

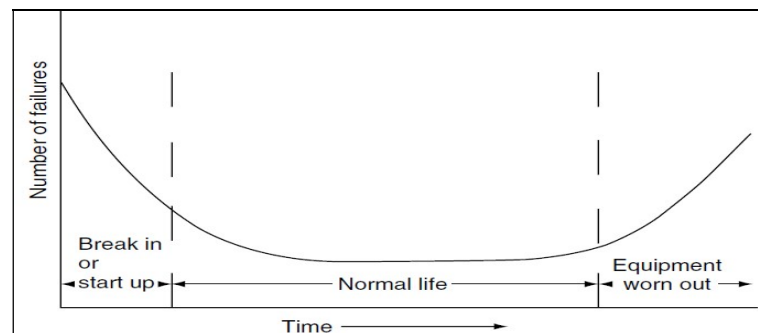
O estado do equipamento é baseado na consideração de diversos aspectos visuais e até mesmo em informações obtidas durante a vida de funcionamento do equipamento. As condições apresentadas pelo equipamento determinarão a maior ou menor atenção no momento das paradas para verificações periódicas.

Já o local de instalação é um dos principais fatores, pois a temperatura do local de instalação e contaminantes (poeira, umidade, gases tóxicos) irão determinar o nível de insalubridade do ambiente e interferência na vida útil dos equipamentos.

Os dados fornecidos pelos fabricantes são o ponto de partida para estabelecer o primeiro ciclo de manutenção preventiva, por isso é considerado a informação mais importante.

Assim sendo, figura 7 ilustra muito bem o comportamento da vida de uma máquina baseada em estatística. A curva da banheira, ou tempo médio de falha, indica que uma máquina nova tem altos índices de falhas devido a problemas de instalação nas primeiras semanas de operação. Logo após esse período inicial, a probabilidade de falha se reduz por um determinado tempo. Passado esse período normal de vida útil da máquina, a probabilidade de falha volta a aumentar com o decorrer do tempo.

Figura 7– Curva da banheira.



Fonte: MOBLEY (2004).

Para adotar o sistema de manutenção preventiva, é necessário levar em consideração algumas condições básicas, como se o equipamento permite algum tipo de monitoramento e se a avaliação custo-benefício é favorável para adotar tal prática. Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de se realizar análise das falhas que permita que seja rastreada as causas iniciais do problema, permitindo condições adequadas de eliminá-las

e de se adotar ações corretivas que venham a eliminar de maneira definitiva os eventuais problemas (SENAI, 2010).

Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva visa acompanhar a máquina ou peça, através de monitoramento, medições ou por controle estatístico e tenta antecipar a proximidade da falha. Seu objetivo é determinar o tempo correto da necessidade de intervenção da manutenção, evitando assim desmontagens ou paradas para inspeção, utilizando o componente até o máximo da sua vida útil (VIANA, 2002).

É o tipo de manutenção que se leva em consideração as alterações encontradas na condição e no desempenho do equipamento, cujo acompanhamento obedece aos parâmetros de aceitabilidade. É considerada como um marco na evolução da manutenção, pois é analisado o estado real do equipamento para prevenir falhas permitindo a operação contínua do equipamento no maior tempo possível (SENAI, 2010).

Ainda segundo SENAI (2010), a manutenção preditiva está ligada ao conceito de predição da ocorrência, ou seja, privilegia a maximização da disponibilidade do equipamento conforme a não intervenção, uma vez que o monitoramento e as medições são efetuados com o equipamento em operação. Assim, é uma das formas mais eficientes da estratégia de manutenção, pois caso não seja adotado essa monitoração e procedimentos, uma eventual falha gera perdas e prejuízos significativos.

Para a realização do monitoramento ou de técnicas preditivas, qualquer tipo de meio, desde que possa obter resultados, é aceitável para determinar a condição do equipamento, seja por controle estatístico ou até mesmo a utilização do sentido humano como som, cheiro ou aparência. Porém, existem outras técnicas sofisticadas utilizadas no monitoramento e são citadas por Krishna (2008).

- a) Análise de vibração: É utilizado o sistema de monitoramento de vibrações com acelerômetros piezoelétricos como sonda de vibração. Permite a detecção de falhas mecânicas em um tempo extremamente reduzido. Porém o custo de instalação do sistema é alto, bem como o trabalho de instalação. No entanto, a análise de vibração é a solução mais recomendada quando se trabalha com máquinas rotativas.

- b) Emissão acústica: É uma técnica capaz de detectar ruídos que estão fora da faixa da audição humana e são indicadores de falhas mecânicas como por exemplo rachaduras em tubulações, vazamento de fluidos etc.
- c) Análise de óleo: Neste processo, o óleo lubrificante é analisado e são coletadas partículas microscópicas do mesmo. Essas pequenas partículas podem fornecer informações sobre as partes da máquina que estão sofrendo desgaste. Além disso, é possível tomar como parâmetro a viscosidade do óleo. A alcalinidade do óleo pode comprovar se o mesmo está em contato com outros tipos de substâncias.
- d) Análise termográfica: Utilizada para detectar mudanças de temperatura em mancais e eixos. Este método detecta temperaturas anormais que podem significar corrosão, fiação danificada, conexões soltas e pontos quentes. Esta monitoração ajuda a reduzir falhas inesperadas de equipamentos elétricos e mecânicos pois servem como alerta de possíveis falhas catastróficas.
- e) Monitoramento de corrosão: São realizadas em tubulações medições de espessura de modo a acompanhar a ocorrência de desgaste corrosivo.
- f) Monitoramento de desempenho: É uma técnica eficaz para determinar problemas operacionais no equipamento já que proporciona uma boa visão sobre a condição interna da máquina ou componente.

Apesar dos inúmeros métodos, é necessário estudar bem como e qual método será o mais eficaz, pois se não houver um pessoal qualificado, equipamento apropriado, um planejamento adequado, o custo com este tipo de manutenção pode se tornar bastante elevado.

2.2.2 Monitoração da vibração da linha de eixo

O estudo de vibrações mecânicas é motivado, na área da engenharia, pela aplicação em projeto de máquinas, fundações, estruturas, motores, turbinas e sistema de controle. Nesse contexto, a análise de vibração é utilizada a fim de determinar a condição operacional e mecânica de um equipamento. Sua grande vantagem é que a análise de vibração pode identificar com antecedência problemas de desenvolvimento antes que se tornem graves ou que provoque uma paralisação indesejada da máquina. Isso pode ser conseguido através da monitoração regular das vibrações da máquina, seja em intervalos programados ou de forma contínua (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

Como já mencionado, a monitoração de vibração pode detectar desalinhamento e desbalanceamento de eixo antes que possam resultar em sua deterioração, além de frouxidão em componentes do equipamento e engrenagens desgastadas. Assim, todo equipamento mecânico em movimento gera um perfil de vibração que reflete a sua condição operacional, independente da velocidade ou modo de operação.

Sempre que a frequência natural de vibração de uma determinada máquina ou estrutura coincidir com a frequência de excitação externa, ocorre o fenômeno chamado de ressonância (RAO, 2008).

Os benefícios são inúmeros quando se está trabalhando com a análise de vibrações, pois se pode identificar práticas inadequadas de manutenção e eliminar problemas recorrentes da máquina melhorando a qualidade e redução contínua dos níveis de vibração dos equipamentos de uma indústria. Quando usados corretamente, os dados de análise de vibrações fornecem as condições para manter o meio operando de forma ideal. É usada também para avaliar o fluxo de fluido através de tubulações ou vasos, detectar vazamentos e diversas técnicas não destrutivas que melhoram a confiabilidade e desempenho do sistema (MOBLEY, 2002).

Falar sobre vibrações requer uma análise vasta e bastante apurada sobre o assunto, especialmente quando falamos de alinhamento de eixos, onde o ideal seria analisar o espectro de vibração para diversas faixas de frequência em toda a linha de eixo através de softwares computacionais. Porém, uma análise de vibração como essa fugiria o foco deste trabalho perdendo o propósito.

3. ESTUDO DE CASO

Realizar manutenção em um meio naval certamente é uma das tarefas mais árduas, seja para os tripulantes, para equipe que realiza a manutenção ou para a empresa que gerencia o trabalho, pois inevitavelmente há uma mobilização de material, pessoal e principalmente financeira para execução do serviço.

Um dos principais problemas que pode ocorrer em um navio e é passível de manutenção é a linha de eixo desalinhada, pois além de exigir um tempo maior de reparo há a necessidade de levar a embarcação ao dique seco, o que requer uma preocupação a mais em todo o processo. E na Marinha do Brasil não é diferente.

Nesse contexto, o estudo de caso do presente trabalho irá analisar os métodos de alinhamento de linhas de eixo de navio, realizando um estudo das técnicas descritas nas literaturas bem como nas rotinas de manutenção de navios e descrever o procedimento e tecnologias utilizadas pelo Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro para alinhamento de linhas de eixo.

3.1 Principais Métodos de alinhamento de eixo

Garantir um alinhamento de eixo é primordial para uma operação segura e confiável de um navio ao longo da sua vida útil. Algumas medidas e recomendações de serviços que auxiliam os estaleiros e operadores serão estudadas a fim de garantir que os melhores resultados sejam atingidos durante o procedimento de alinhamento de eixo de uma embarcação.

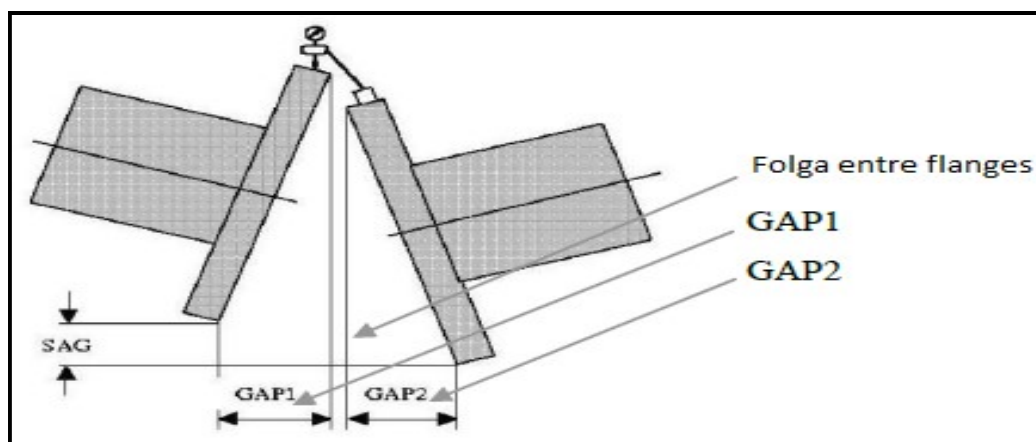
Motores modernos e de alta potência possuem um eixo de propulsão de diâmetro grande, bem como sistemas de eixos rígidos que afetam de maneira negativa os motores principais. Entretanto, os sistemas de eixos flexíveis utilizados para minimizar esses efeitos podem sofrer problemas como vibração de flexão lateral gerando até mesmo respostas com ressonância.

Os quatro principais métodos para verificar o alinhamento do eixo são: Método GAP-SAG, Método Ótico ou a Laser, Método Jack-up e Extensometria. Esses métodos podem ser usados de maneira simples ou até mesmo combinado entre eles.

3.1.1 Método GAP-SAG

O GAP é definido como a diferença das distâncias entre as arestas superior ou inferior do par de flanges que não estão conectados. A folga em cada flange é calculada a partir da inclinação angular do eixo e do diâmetro do flange. O GAP total é obtido pela soma linear dos espaços em ambos os flanges. Já o SAG é calculado medindo o deslocamento de flexão em cada localização do flange e subtraindo-o da deflexão do flange correspondente. Pode-se visualizar na figura 8 o GAP e SAG.

Figura 8–GAP-SAG.



Fonte: Adaptado de ABS (2006).

O método GAP-SAG é utilizado para verificar a condição de montagem de eixo em novas construções ou manutenções. O método é simples, rápido e não necessita de equipamentos ou medidores sofisticados. Porém, devido à sua imprecisão e inconsistência das próprias medidas de gap e sag, além de possuir dificuldades em relação as condições de medidas, o método só deverá ser utilizado como uma verificação superficial, não sendo recomendado para verificação final do alinhamento ou corrigir a condição de alinhamento já existente. Apesar da sua dificuldade, ele é indicado para detectar possíveis problemas no estágio de pré-montagem do eixo de propulsão (ABS, 2006).

Segundo a ABS (2006), as desvantagens do método GAP-SAG são:

- Dificuldade de verificar a condição do sistema montado;
- Precisão limitada por causa da geometria do sistema e valores de folga medidos; e
- Não permite medição fácil do desvio do eixo.

Para a descrição do método GAP-SAG será mencionado o procedimento utilizado pela empresa ABS (American Bureau of Shipping), uma das empresas líderes em serviços navais e offshore.

A condição do casco durante a medição muitas vezes é diferente do modelo analítico para os valores de GAP e SAG que são definidos. Além disso, em navios que utilizam sistema de propulsão muito rígidos, os valores de deflexão são muito pequenos e as reações nos mancais são muito suscetíveis a pequenos desvios na posição dos mancais, refletindo assim nos procedimentos de medição GAP e SAG bem como nas reações dos mancais.

Para realizar o procedimento GAP-SAG, é recomendado que as posições dos mancais não sejam alteradas, mesmo que os valores de folgas estiverem em desacordo com o calculado. A resposta baseia-se na precisão do método, visto que não é suficiente para garantir que o alinhamento seja corrigido, podendo até mesmo agravar o alinhamento.

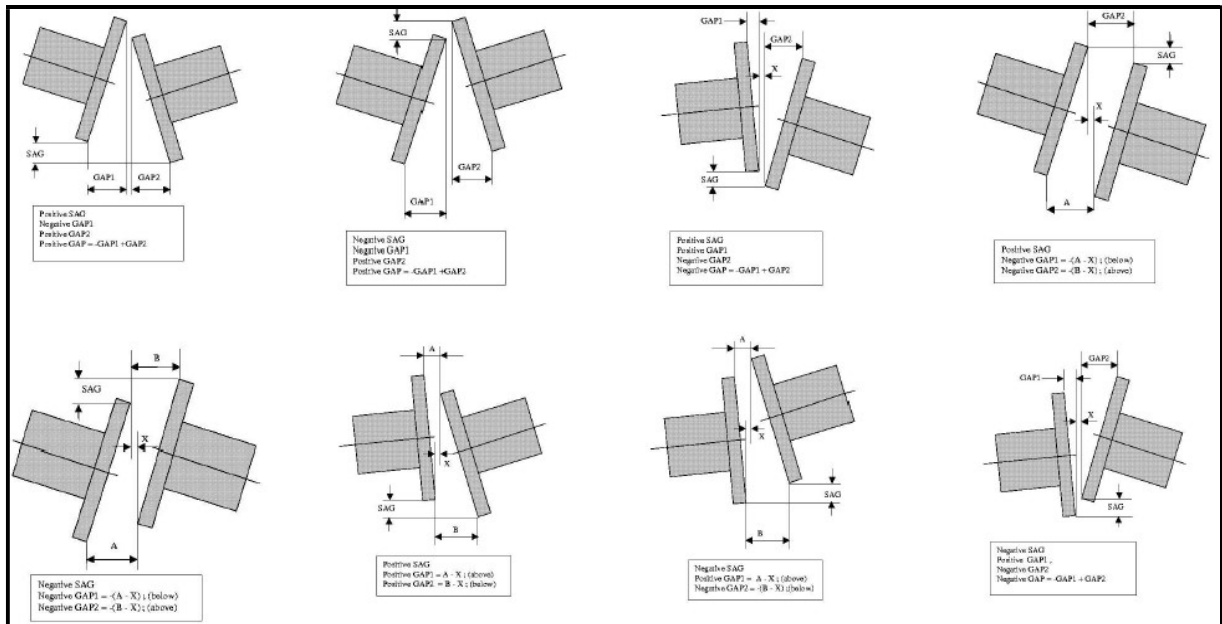
Antes de se iniciar o procedimento GAP-SAG é recomendado que as seguintes etapas sejam concluídas: Instalação no motor e engrenagem redutora, instalação de calços temporários, instalação do eixo dentro do casco e montagem do propulsor.

A teoria que envolve o procedimento é a mesma teoria aplicada na análise do sistema de eixo como um todo, sendo montado e conduzido do seguinte modo:

- O alinhamento é definido e calculado para o sistema montado;
- Definidos as posições dos mancais; e
- O sistema é retirado dos flanges e cada célula do eixo é analisado separadamente. Com isso, os deslocamentos e inclinação em cada extremidade do eixo é calculado.

Dessa forma, é possível calcular a folga obtendo o deslocamento de flexão em cada posição do flange e subtraindo-o da mesma deflexão do flange correspondente. Na figura 9 é possível observar os possíveis arranjos entre os flanges que geram a necessidade de utilização do procedimento GAP-SAG.

Figura 9—Arranjo entre flanges.



Fonte: ABS (2006).

3.1.2 Método Ótico ou a Laser

O Método Ótico é aplicado antes da linha de eixo ser instalada e acoplada, além de estabelecer uma linha de referência e a posição dos mancais através de equipamentos de alta precisão, tais como instrumentos óticos, laser ou corda de piano.

A localização de cada mancal pode ser verificada utilizando o método ótico quando o navio está no dique seco e a linha de eixo é removida, desta forma, os deslocamentos de todos os mancais são medidos em relação a uma linha de visão ótica e comparando-o com a saída de um modelo computacional (SNAME, 2007).

Ainda segundo SNAME (2007), os métodos óticos podem utilizar um telescópio de micro alinhamento ou sensor a laser, dependendo do comprimento da linha de eixo. O método a laser é baseado na mesma técnica aplicada ao método ótico, diferenciando pelo fato da utilização de raios lasers ao invés da linha visual. A principal vantagem do alinhamento a laser é a capacidade de medir grandes distâncias com pequena perda de precisão.

Na execução deste método, o dispositivo visual ou laser é ligado ao flange, de um eixo de referência, de forma que a linha de visão ou raio laser seja perpendicular à face do flange. Isto deve ser verificado com uma referência na extremidade do mancal mais de ré. Em seguida, o flange que teve o dispositivo conectado é girado em 360° de modo que a linha de visão forme um círculo na referência estipulada, sendo então ajustada a instalação a fim de

que o círculo seja reduzido a um ponto. Após a instalação do dispositivo ter sido configurada de maneira correta, as referências devem ser instaladas nas extremidades dianteiras e traseiras de cada mancal. Cada mancal é então colocado no local e ajustado até que a linha de visão ou raio laser atinja a referência. É recomendado que as medições do alinhamento sejam realizadas no período noturno, pois o casco do navio sofre menos variações provocados pelas variações de temperatura (SNAME, 2007). Nas figuras 10 e 11 é possível verificar a montagem do dispositivo.

Figura 10–Alinhamento ótico.



Fonte:ARTZ Marine (2018).

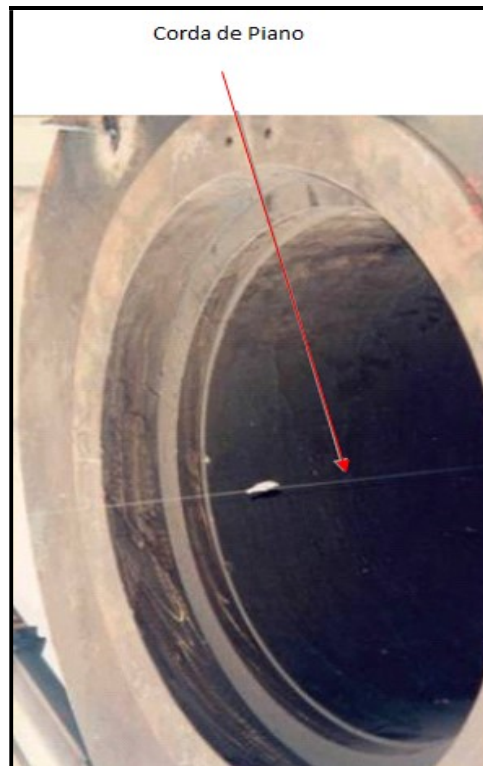
Figura 11–Alinhamento ótico.



Fonte: Barboza (2014).

Além dos procedimentos citados, o alinhamento ótico pode ser realizado através do método “Corda de Piano” (ABS, 2006). Neste método, a linha central do eixo é estabelecida por uma corda que é ligada do mancal mais de ré ao flange do motor principal, conforme a figura 12.

Figura 12– Corda de Piano.



Fonte: ABS (2006).

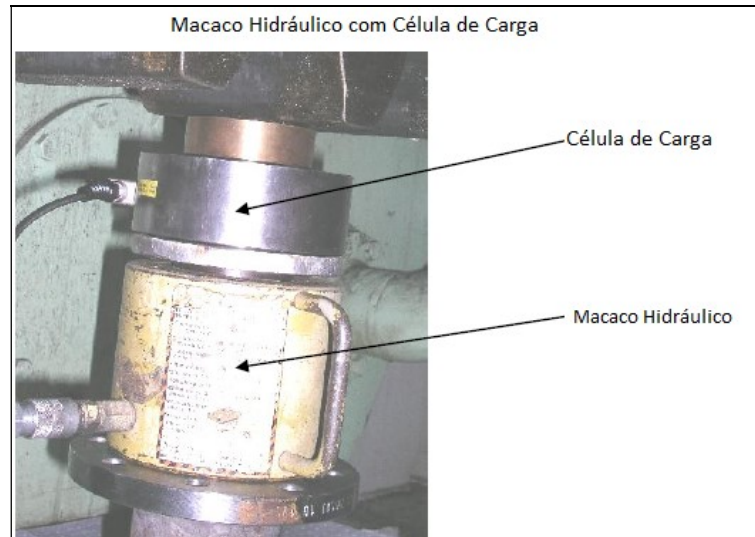
Nestes casos, o deslocamento do mancal é calculado medindo a distância vertical da corda do piano até a localização do mancal de referência do eixo. Vale ressaltar que posições dos mancais, bem como os ângulos de inclinação são definidos utilizando a corda do piano como referência e que os dados teóricos devem ser corridos utilizando métodos matemáticos. Porém não será demonstrado neste trabalho, ficando apenas a título de informação.

3.1.3 Método Jack-up

O método Jack-up é uma maneira direta que calcula as reações nos mancais através de macacos hidráulicos que são dispostos próximos aos mancais na qual a reação deve

ser medida. Para melhorar a precisão, é altamente recomendado a utilização de macacos hidráulicos em combinação com uma célula de carga (ABS, 2006), conforme a figura 13.

Figura 13– Macaco hidráulico em conjunto com uma célula de carga.



Fonte: Adaptado de ABS (2006).

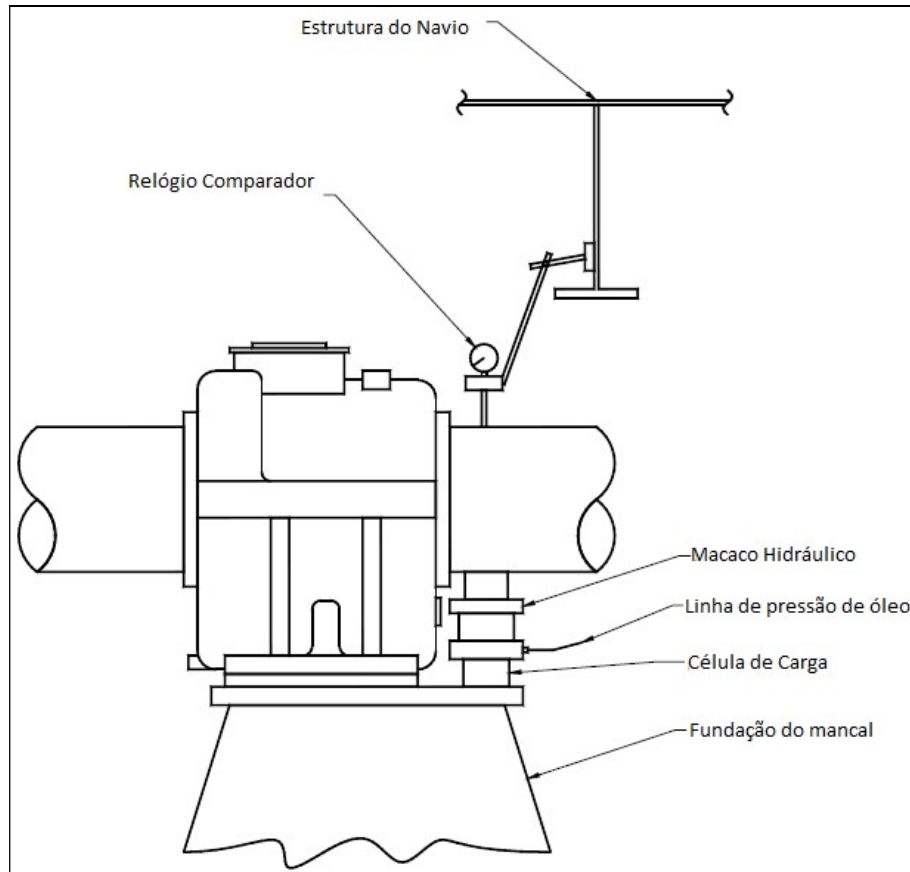
Para a descrição do método, será tomado como referência os procedimentos e técnicas de alinhamento de linhas eixo utilizados pela “The Society of Naval Architects and Marine Engineers”, elaborados por SNAME (2007).

Além de calcular as reações nos mancais, o método Jack-up é o procedimento mais utilizado para medir o alinhamento do eixo principal de propulsão, bem como detectar possíveis curvaturas no eixo e servir para validar os resultados do método Strain Gauge, que será estudado posteriormente.

O procedimento Jack-up requer um macaco hidráulico, um relógio comparador e uma célula de carga para exibir a saída eletrônica, como mostrado na figura 14. O macaco hidráulico e a célula de carga são posicionados sob o eixo, na parte de vante ou de ré do mancal, porém o mais próximo possível do mesmo. Dessa forma, cada mancal da linha de eixo terá a sua posição estabelecida. O relógio comparador, para medir o movimento vertical do eixo, é instalado na parte superior do eixo imediatamente acima do macaco hidráulico, e fixado a uma estrutura que não seja afetada pelo processo de elevação. Antes de iniciar as medições, o operador deve girar o eixo diversas vezes e levantá-lo pelo menos uma vez com a finalidade de reduzir o erro de histerese no eixo, garantir que nenhum outro mancal seja

suspenso ao mesmo tempo e garantir que haja folga suficiente entre o eixo e o mancal mais elevado.

Figura 14– Instalação do Macaco hidráulico.



Fonte: Adaptado de SNAME (2007).

Para a medição de carga vertical, o operador suspende e abaixa o eixo em incrementos de 0,025mm e plota as cargas e movimentos do eixo correspondente. Dessa forma, uma curva é criada formando um gráfico Deslocamento x Carga para o mancal analisado. A reação no mancal é determinada multiplicando a carga do macaco hidráulico por um fator de correção “Jack” determinado a partir de análise computadorizada. Já a suspeita de um eixo fletido ocorre quando a carga no mancal muda significativamente conforme a posição circunferencial da linha de eixo.

As medições horizontais normalmente não são realizadas pelo método Jack-up pois para tal processo, são necessários procedimentos e uma fixação dos equipamentos diferenciadas. Além desses fatos, o método Jack-up apresenta algumas desvantagens nas quais podemos citar:

- Necessidade de várias medições para obter dados razoáveis de alinhamento;
- O processo é demorado e requer o mesmo tempo de preparação para cada medição;
- Necessidade do macaco hidráulico, célula de carga e um relógio comparador;
- Dificuldade de medição das reações; e
- Apesar de registrar diretamente a carga, o método Jack-up não mede diretamente a reação no mancal, sendo necessário aplicar um fator de correção;

3.1.4 Extensometria ou Método Strain Gauge

O Método de Strain Gauge é a maneira mais confiável para medir a real posição do mancal. Este método também pode fornecer informações de mancais que normalmente não são possíveis obter ou ter acesso através de outros métodos. Em contrapartida, os strain gauges não são facilmente aplicados nos virabrequins, necessitando ser combinado com outros métodos, como o jack-up, para obter medidas de deflexão do virabrequim (ABS, 2006).

O Método Strain Gauge é a única técnica disponível para medir o alinhamento de toda a linha do eixo propulsor com o navio flutuando. Este método fornece uma avaliação mais completa e precisa para as condições de alinhamento se comparado com o método Jack-up. Segundo SNAME (2007), o método strain gauge apresenta vantagens como:

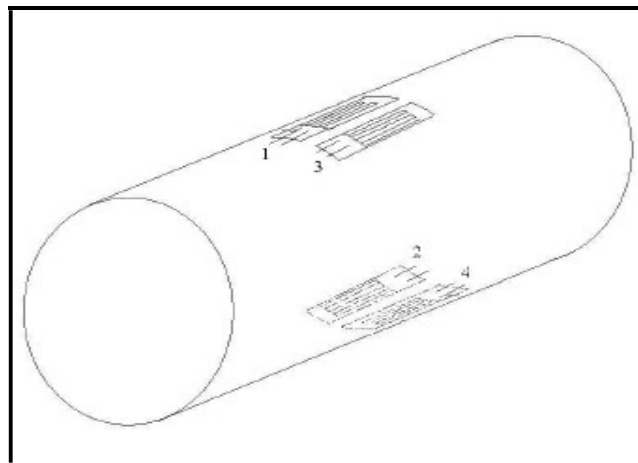
- Medir cargas nos mancais que não são acessíveis pelo macaco hidráulico;
- Rápidas medições e fáceis de instalação dos strain gauges;
- Medir as reações durante a operação da embarcação; e
- Calcular simultaneamente as reações nos mancais nas direções verticais e horizontais.

Os strain gauges em cada posição axial são localizados no mesmo plano normal à linha de centro do eixo. São dispostos a 180° em torno da circunferência do eixo para medir as deformações axiais ou dispostos a 90° se o eixo estiver reto. Devem ser arranjados segundo as seguintes referências:

- Localizados onde o momento de fletor seja muito sensível a mudanças de cargas nos mancais, de modo que pequena alteração não influencie na tensão média;
- Localizados pelo menos a distância correspondente ao diâmetro do eixo de onde houver descontinuidades como flanges, furos ou pesos concentrados de modo a garantir que tensões locais não afetem as informações; e
- Não devem ser instalados muito perto de um mancal quando não se conhece a localização exata da carga no mesmo, pois pode causar um erro no momento fletor e interferir nos resultados da medição.

A figura 15 exemplifica a disposição dos strain gauges em uma linha de eixo.

Figura 15–Instalação de strain gauge.



Fonte: ABS (2006).

As desvantagens do método são muito em função do sistema de modelagem, pois instalação incorreta dos strain gauges, equipamento danificado ou defeituoso, superfície do eixo que não esteja tratada, influencia bastante no resultado, além de todo o equipamento utilizado ser caro e sofisticado para realizar a medição.

3.2 Alinhamento de linhas de eixo em navios da Marinha do Brasil

A missão dos navios da Marinha do Brasil é estar sempre prontos para contribuir com a defesa da Pátria, garantindo os poderes constitucionais e da lei da lei e da ordem, além de contribuir com as atribuições subsidiárias previstas em lei e prestar apoio à Política Externa. Sendo assim, um navio que esteja em reparo deixará de cumprir a sua missão.

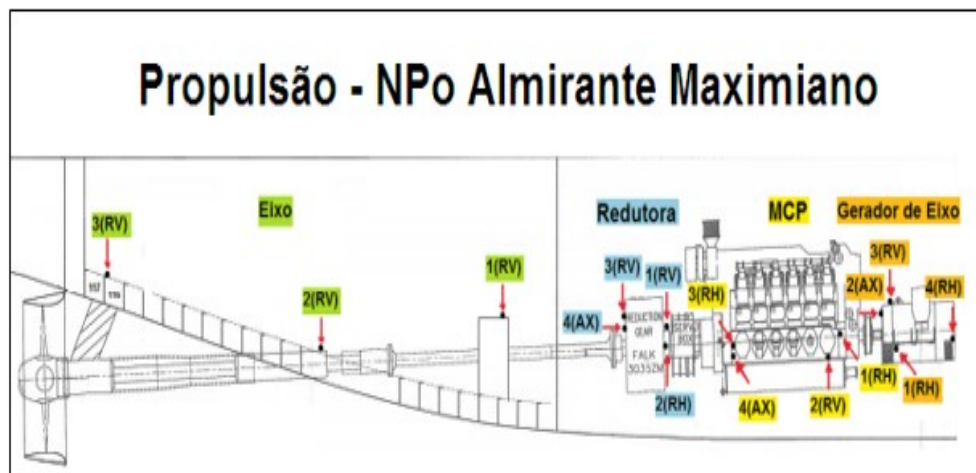
Na Marinha do Brasil, o alinhamento de linhas de eixo é realizado por Organizações Militares Prestadoras de Serviços (OMPS), tais como Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), Base Naval do Rio de Janeiro (BNRJ), Base Naval de Aratu (BNA), entre outras. Porém, os primeiros indícios de um problema de desalinhamento de eixo são diagnosticados pela própria tripulação do navio, mais especificamente pelo departamento de máquinas do navio, onde observam-se alguns parâmetros principais como cavitação no hélice, aquecimento dos mancais (sustentação e escora), vibração e ruído.

Um dos principais métodos utilizados para se detectar um possível desalinhamento no eixo é através da análise de vibrações.

Na Marinha do Brasil o setor responsável pela análise de vibrações é o Centro de Projetos de Navios (CPN), que possui pessoal qualificado e material adequado para realizar as medições e auxiliar as autoridades navais a tomar decisões importantes, como por exemplo docar o navio. O teste ocorre a bordo durante o teste de máquinas do navio, onde é solicitado três demandas com navio operando a máxima e mínima carga operacional.

É possível verificar um caso real de análise de vibrações nas figuras 16 e 17. Onde o navio analisado é o NPo Almirante Maximiano, sendo possível observar os pontos de medições e realização da análise de vibrações.

Figura 16–Pontos de medição do sistema de propulsão.



Fonte: CPN (2018).

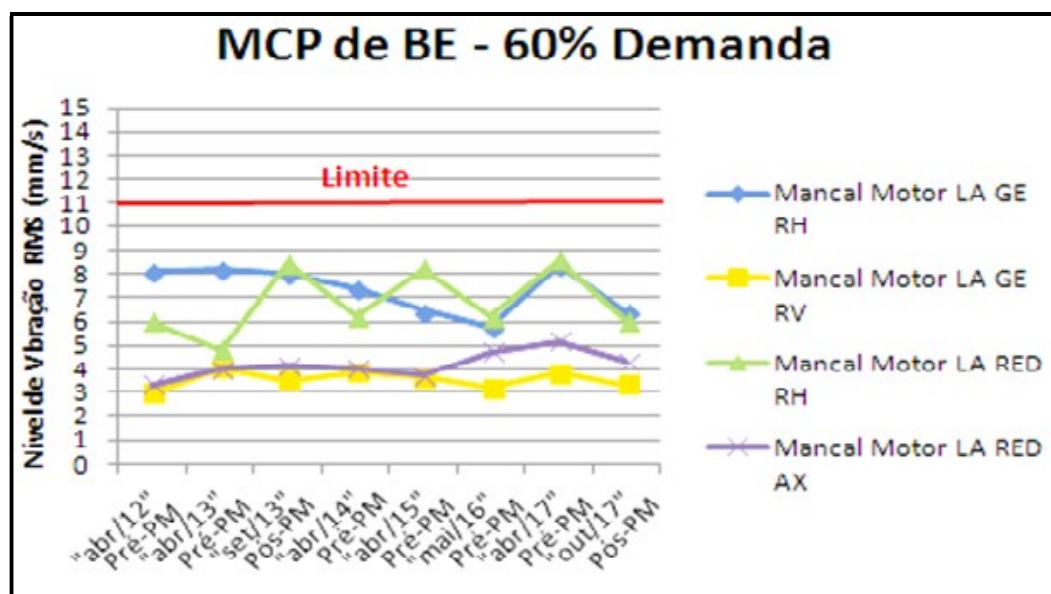
Figura 17–Fotografia dos pontos de medição dos mancais da linha de eixo.



Fonte: CPN (2018).

A utilização de técnicas de manutenção estudadas na seção anterior, constituem outra importante etapa para se prever uma possível falha. A verificação das temperaturas dos mancais, a observação dos ruídos, necessidade de aumentar a carga no propulsor em condições normais, entre outras são procedimentos de manutenção que são observados a bordo e fornecem subsídios para uma tomada de decisão. Um exemplo de manutenção preditiva pode-se observar na figura 18 abaixo, onde fornece informações do nível de vibração pelo tempo, bem como o seu limite aceitável.

Figura 18–Nível de vibração para o MCP na condição de operação de 60% da demanda.



Fonte: CPN (2018).

Com as informações obtidas e decisão tomada para realizar um alinhamento na linha de eixo da embarcação, a etapa seguinte é a elaboração de um pedido de serviço para as OMPS, nas quais irão realizar os procedimentos.

Na Marinha do Brasil, as técnicas de alinhamento de linhas de eixo basicamente são GAP-SAG e alinhamento ótico através da corda de piano. O procedimento à laser é realizado por empresas terceirizadas onde sua principal aplicação é na conferência dos alojamentos das buchas e tubos. Nas figuras 19 e 20 é possível observar um eixo propulsor e um relógio comparador utilizado no método GAP-SAG.

Figura 19– Imagem de um eixo propulsor na oficina.



Fonte: Autor (2018).

Figura 20 – Imagem de um relógio comparador utilizado nas oficinas.



Fonte: Autor (2018).

4. CONCLUSÃO

Após o estudo dos diversos métodos de alinhamento de linhas de eixos nos navios, visitas às oficinas da Marinha do Brasil, conversas com técnicos e engenheiros, chega-se à conclusão que os procedimentos utilizados pela Marinha com o intuito de alinhar a linha de eixo é eficaz e atende as demandas solicitadas. O pessoal é bastante experiente e tem-se os recursos necessários para realizar o procedimento da melhor maneira possível.

Entretanto, verificou-se que os métodos GAP-SAG e alinhamento ótico são utilizados a bastante tempo e não há uma evolução nas tecnologias empregadas. Porém existe a necessidade de avançar no mesmo ritmo das principais potências navais. E para isso é imprescindível possuir uma equipe de apoio à manutenção dos navios aptas e atualizadas com o que há de mais moderno.

Um fato a destacar neste contexto é a contratação de empresas terceirizadas para realizar o alinhamento a laser. Normalmente as OMPS realizam o serviço, mas só emitem o relatório de conclusão do serviço quando a empresa contratada confirma que o procedimento foi realizado dentro dos padrões.

Desta forma, seria muito mais interessante e vantajoso para a Marinha do Brasil a aquisição de equipamentos mais sofisticados. No início, haveria um alto investimento, pois, seria necessário investir não só nos equipamentos, mas também na qualificação dos seus funcionários e para isso é necessário tempo e recurso. Contudo, é preciso pensar a longo prazo pois a tendência é a aquisição de navios cada vez mais modernos, por exemplo o porta-helicópteros PHM Atlântico (adquirido junto à Marinha britânica em dezembro de 2017) e somente desta forma será possível pensar em disponibilidade dos meios, redução de custo e confiabilidade do serviço.

4.1 Sugestões para Futuros Trabalhos

Após um estudo dos principais métodos de alinhamento de linhas de eixo, seria interessante para a Marinha do Brasil, realizar um estudo, através de modelagem 3D em *Software* computacional da linha de eixo de um determinado navio, como por exemplo o Navio-Escola Brasil, um dos principais navios operativos da Marinha do Brasil. Outra sugestão seria realizar uma monitoração da linha de eixo através da análise de vibração e estudar o espectro correspondente ao alinhamento de eixo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABS. **American Bureau of Shipping.** Disponível em: < [https://preview.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules &Guides/Current/128_PropulsionShaftAlignment/Pub128_Shaft_Align_Guide](https://preview.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules%20andGuides/Current/128_PropulsionShaftAlignment/Pub128_Shaft_Align_Guide)>. Acesso em 03 de maio de 2018.

AZT MARINE TECHNOLOGIES LTD. Disponível em: < <http://atzmartec.com/shaft-alignment-measurement>>. Acesso em 29 de maio de 2018.

BARBOZA, Tiudorico. **Integração dos Sistemas da Propulsão:** curso de aperfeiçoamento para oficiais maquinistas, 2014. Notas de Aula.

CURSO de Manutenção Mecânica. Florianópolis-SC: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2010. (Apostila).

FIXTURLASER. **Alignment & Positioning of Rotating Machines.** Mölndal: Fixturlaser AB, 2003.

GANERIWALA, S.; PATEL, S.; HARTUNG, H. The truth behind misalignment vibration spectra of rotating machinery. In: **Proceedings of International Modal Analysis Conference.** 1999. p. 2078-205.

GIRDHAR, P.; SCHEFFER, C. **Machinery vibration analysis and predictive maintenance.** Burlington: Ed. Elsevier, 2004.

KARDEC, A.; NASCIF, J. – **Manutenção: Função Estratégica.** QUALITYMARK: Rio de Janeiro, 2000.

KARDEC, ALLAN; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. **Gestão estratégica e técnicas preditivas.** Qualitymark Editora Ltda, 2002.

MISRA, Krishna B. Maintenance engineering and maintainability: An introduction. In: **Handbook of performability engineering.** Springer, London, 2008. p. 755-772.

MOBLEY, R. Keith. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2.ed. New York: Butterworth-Heinemann, 2002.

MOBLEY, R. Keith. **Maintenance Fundamentals**. 2.ed. Oxford, UK: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

Peter Filcek. **A guide to shaft alignment**. Royal Belgian Institute of Marine Engineers, 2005. Disponível em: <
<http://marineengineering.co.za/information/general/propulsion/shafting/g4---guide-to-shaft-alignme.pdf>>. Acesso em 05 de junho de 2018.

PRUFTECHNIK LTDA. **A Practical Guide to Shaft Aligmente**, 2002. Disponível em: <
https://www.plantservices.com/assets/knowledge_centers/luDeca/assets/A_Practical_Guide_to_Shaft_Alignment.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2018.

RAO, S.S.; MARQUES, A.S.; LIMA JUNIOR, J.J. de. **Vibrações Mecânicas**. 4ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SNAME. **Practices and Procedures for the Alignment of Marine Main Propulsion Shafting Systems**. Technical & Research Bulletin, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2007.

TOWSLEY, Greg. GRUNDFOS. **Alignment**, 2009. Disponível em: <
http://www.grundfosexpressuite.com/Documentation/WhitePapers/L-CBS-WP-01_Alignment_1011_Low_Res.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2018.

VIANA, H. R. G.. **PCM-Planejamento e Controle da Manutenção**. Qualitymark Editora Ltda, 2002.

WÄRTSILÄ. **Enciclopedia of Ship Technology**. Disponível em:<
<https://www.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/encyclopedia/wartsila-o-marine-encyclopedia.pdf>>. Acesso em 12 de junho de 2018.