

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

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS FMEA NA PROPULSÃO NAVAL: A importância das
técnicas FMEA nos navios da Marinha do Brasil.

PRIMEIRO-TENENTE RODRIGO RAMOS RODRIGUES

Rio de Janeiro
2020

PRIMEIRO-TENENTE RODRIGO RAMOS RODRIGUES

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS FMEA NA PROPULSÃO NAVAL: A importância das técnicas FMEA nos navios da 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:

Fernando A.N. Castro Pinto - D. Sc.

Marcos Tadeu Nazareth Ramos - CMG (RM-1)

CIAW
Rio de Janeiro
2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

PRIMEIRO-TENENTE RODRIGO RAMOS RODRIGUES

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS FMEA NA PROPULSÃO NAVAL: A importância das técnicas FMEA nos navios da 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:

Fernando A.N. Castro Pinto, D Sc – UFRJ _____

Marcos Tadeu Nazareth Ramos, CMG (RM-1) – CIAW _____

Carlos Alfredo Órfão Martins, CC (EN - RM-1) – CIAW _____

Dedico esse trabalho àqueles que me apoiaram nesta caminhada árdua e gratificante, como meus pais, Cesar e Arlete e minha amada esposa Priscila.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha querida esposa Priscila e a minha família por todo suporte, incentivo e apoio incondicional dado ao longo deste trabalho.

Agradeço ao professor Castro Pinto e ao comandante Marcos Tadeu por toda atenção e disponibilidade, contribuindo para a elaboração deste trabalho e, principalmente, pelo extenso conhecimento compartilhado em diversos momentos.

A todos que indiretamente também fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS FMEA NA PROPULSÃO NAVAL: A importância das técnicas FMEA nos navios da Marinha do Brasil.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a implementação das técnicas de FMEA no programa de manutenção dos navios da Marinha do Brasil, além de contribuir para a solução dos diversos desafios encontrados em sua logística de manutenção. Foi realizada uma pesquisa exploratória, em busca do referencial teórico do histórico da implementação da técnica em diversos setores das organizações mundiais. A FMEA surgiu em meados de 1949, era utilizada pelo exército americano para identificar as possíveis falhas nos sistemas militares e começou a ser adotada pela NASA na década seguinte. Já nos anos 70, foi adotada na indústria automotiva, onde se faz presente até hoje. Sendo globalmente utilizada, suas técnicas bem difundidas e seus resultados demonstram um aumento na eficiência da gestão de manutenção. Torna-se fundamental o pleno conhecimento pela Marinha do Brasil e sua aplicação nos seus meios operativos, principalmente no momento pelo qual se passa de dificuldades para manter seus meios navais, devido ao aumento nos custos, em decorrência de manutenções com foco preventivo, restrições orçamentárias do país, somado à idade avançada dos navios. A implementação de uma técnica até então pouco explorada pela instituição, provavelmente terá resistência de seus membros e deverá ser coordenada entre seus diversos setores e implantada gradualmente, de forma que os resultados tragam a importância da expansão o processo. Esta técnica poderá atuar de forma eficiente na política de manutenção da Marinha do Brasil.

Palavras- chave: FMEA, manutenção, confiabilidade, disponibilidade, implementação.

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALI	Apoio logístico integrado
AMRJ	Arsenal de Marinha do rio de janeiro
CASNAV	Centro de análises de sistemas de navios
CCI	corvetas classe Inhaúma
CPN	Centro de projeto de navios
DEN	Diretoria de engenharia da Marinha
EUA	Estados Unidos da América
FCG	Fragatas classe Greenhalg
FCN	Fragatas classe Niterói
FMEA	Análise de modos de falha e efeitos
FMECA	Análise de modos de falha, efeitos e criticidade
MB	Marinha do Brasil
MC	Manutenção corretiva
MCC	Manutenção centrada na confiabilidade
MD	Manutenção detectiva
MP	Manutenção preventiva
MPR	Manutenção preditiva
PROGEM	Programa geral de manutenção
SMP	Sistema de manutenção planejada
USN	Marinha dos Estados Unidos da América

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Conceitos de manutenção.....	11
2.2	Tipos de manutenção.....	11
2.2.1	Manutenção corretiva.....	12
2.2.2	Manutenção preventiva.....	12
2.2.3	Manutenção preditiva.....	13
2.2.4	Manutenção detectiva.....	13
2.3	Manutenção centrada na confiabilidade (MCC).....	13
2.4	Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA).....	14
2.5	Parâmetros da confiabilidade.....	14
3	MANUTENÇÃO NA MARINHA DO BRASIL	16
3.1	Tipos de manutenção empregados na MB.....	16
3.2	Apoio Logístico Integrado (ALI).....	18
4	IMPLEMENTAÇÃO DO FMEA.....	20
4.1	Função.....	20
4.2	Falhas funcionais.....	21
4.3	Modos de falhas.....	21
4.4	Efeitos de falha.....	22
4.5	Sequência de elaboração do FMEA.....	22
4.5.1	Definição dos itens.....	23
4.5.2	Coleta de dados.....	23
4.5.3	Identificação dos modos de falhas e seus efeitos.....	24
4.5.4	Identificação das causas.....	24
4.5.5	Número de prioridade de risco (NPR).....	24
4.5.6	Severidade.....	25
4.5.7	Ocorrência.....	25
4.5.8	Deteção.....	26

4.5.9	Aceitabilidade de risco.....	26
4.5.10	Modelo de aplicação.....	26
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento do nível tecnológico nas organizações, índices como a confiabilidade e disponibilidade tornaram-se primordiais para uma eficiente gestão da manutenção dos equipamentos de uma organização, buscando uma vantagem competitiva. Segundo Kardec e Nascif (2015, p.2), a manutenção se desenvolveu muito nos últimos 70 anos, podendo se destacar a sua importância para a competitividade das organizações.

A Segunda Guerra Mundial dividiu a era de manutenção nas indústrias em dois tipos. Primeiramente, tinha como ferramenta a manutenção corretiva (MC) não planejada, a qual somente consertava-se a máquina quando a mesma parava devido a uma falha. Após a Guerra, até a década de 1970, teve como foco a inserção em escala da manutenção preventiva, com a preocupação do não acontecimento de falhas. Porém, segundo Kardec e Nascif (2015, p.3), neste período as organizações tiveram um elevado custo de manutenção, levando a necessidade de uma busca por alternativas nos procedimentos.

A partir da década de 1970 iniciou-se a terceira fase, a qual obteve ênfase na confiabilidade e na disponibilidade, ocorrendo a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nas forças armadas dos Estados Unidos da América (EUA). Buscou-se uma diminuição nos custos de manutenção objetivando encontrar o ponto mais eficiente entre a necessidade de realização de manutenção e a menor possibilidade de haver quebra dos equipamentos. Por conseguinte, houve o início o monitoramento da condição por meio do surgimento da manutenção preditiva (MPR).

Para a Marinha do Brasil (MB), a fase da MC se estendeu até a década de 1970, quando aconteceu a aquisição das fragatas classe Niterói (FCN), construídas tanto no Reino Unido quanto no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). Ocorreu neste período uma evolução na utilização das manutenções, passando a ter como principal tipo a manutenção preventiva (MP). As próximas construções e aquisições de navios pela MB continuaram aplicando em sua maioria a MP. Somente no início da década de 1990, ocorreu a tentativa de implantação da MPR, a qual não tem demonstrado muita eficiência.

Para corroborar com o agravamento da situação nos últimos 20 anos, vieram os cortes no orçamento das Forças Armadas, afetando ainda mais o Programa Geral de Manutenção (PROGEM). Juntamente com a idade avançada dos meios navais, vem sendo deteriorante para a eficácia dos programas de manutenção da MB. Os altos custos demandados pela MP estão se tornando inatingíveis, o que traz como consequência um

retrocesso no retorno de uma aplicação maior da MC, ocorrendo uma elevação dos custos de manutenção e muitas vezes a indisponibilidade de seus meios navais, implicando no cumprimento de sua missão.

A aplicação das técnicas de Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) dentro de uma mentalidade de MCC, segundo Kardec e Nascif (2015, p. 158), busca a elaboração e a revisão de programas de manutenção, obtendo excelentes resultados na confiabilidade, na disponibilidade e nos custos de manutenção.

Esta pesquisa tem o objetivo de verificar a aplicabilidade dessas técnicas nos navios da MB, tentando alcançar através de métodos inovadores e já eficientes em outras organizações uma solução para a redução dos custos de manutenção e o aumento da disponibilidade e confiabilidade de seus navios.

Busca-se atingir ao final deste trabalho a aplicabilidade das técnicas de FMEA dentro da MCC nos programas de manutenção dos navios da MB. Com esta finalidade, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Descrever sobre a manutenção e seus tipos;
- b) Descrever a utilização da técnica FMEA;
- c) Analisar a manutenção aplicada na MB e suas possibilidades de aprimoramento;
- d) Analisar a implementação da técnica FMEA nos navios da MB e seus impactos na elaboração de programas de manutenção.

O trabalho foi baseado na pesquisa bibliográfica da literatura sobre manutenção e FMEA, além das normas da MB. Quanto à parte da manutenção na MB, foram realizadas consultas à Diretoria de Engenharia Naval (DEN).

A fim de alcançar os objetivos propostos, o trabalho apresenta-se estruturado e dividido nos seguintes capítulos:

- a) Introdução;
- b) Referencial teórico: Conceitos e tipos de manutenção mais relevantes, histórico e conceito da FMEA e MCC;
- c) Manutenção na MB: Identificação dos tipos de manutenções mais utilizadas nos navios, consequências da utilização excessiva da MP e a função do Apoio Logístico Integrado (ALI);
- d) Implementação da FMEA: Metodologia e exemplo prático das técnicas;
- e) Conclusão: Demonstração de como a implantação da FMEA pode melhorar a política de manutenção dos navios da MB.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos de manutenção

Segundo TAVARES (1999, p. 1), manutenção é a técnica de conservar os equipamentos e componentes em serviço durante o maior prazo possível e com o máximo rendimento.

Na MB, de acordo com o EMA-420 (BRASIL, 2002, p.3-2), a manutenção é o conjunto de atividades técnicas e administrativas que são executadas visando manter o material na melhor condição para emprego, com confiabilidade, segurança e custo adequado e, quando houver avarias, reconduzi-lo aquela condição.

A manutenção está diretamente correlacionada com a disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, pois busca a operação normal de um equipamento para desempenhar sua função, ou na medida que sofra uma avaria, volte o mais rápido possível ao seu estado operacional.

A política de manutenção deve contemplar não somente sobre o equipamento e sua operação, mas também deve-se atentar à segurança do pessoal, das instalações e do meio ambiente. Sua importância se dá no fato do dever de apresentar diretrizes, programas e objetivos dos tipos de manutenção, além de fazer uma gestão sobre os mesmos que estão sendo aplicados em seus equipamentos.

Kardec e Nascif (2015, p.39) descrevem como relevante a necessidade das organizações criarem um documento de alto nível organizacional, o qual esclareça sobre a política de manutenção empregada em seus ativos, além da prioridade de utilização dos mesmos.

Na MB, não há uma política de manutenção descrita em normas. As duas normas que existem sobre o assunto, EMA-400 (Manual de Logística da Marinha) e EMA-420 (Normas de Logística de Material), não abordam sobre os assuntos descritos anteriormente, não explicando aspectos como a priorização das manutenções que devem ser aplicadas.

2.2 Tipos de manutenção

Existem alguns tipos de classificação de manutenção, porém o autor deste trabalho considera adequada a seguinte classificação em função dos mesmos:

2.2.1 Manutenção corretiva

Segundo TAVARES (1999, p.33), manutenção corretiva é a atuação que deve ser feita quando ocorre uma falha ou o desempenho está menor do que o esperado.

Na MB, existem dois conceitos diferentes sobre esse tipo de manutenção. No EMA-420 (BRASIL, 2002b, p. 3-3), MC é o tipo de manutenção que se propõe a reparar o material danificado para repô-lo em condições de uso. O EMA-400 (BRASIL, 2003b, p. 4-6) acrescenta que a MC pode ser subdividida em planejada e não-planejada, sendo mais coerente com a literatura global, corroborando para a questão de mesmo sendo a MC, existir de forma programada.

Existe ainda correções conforme MONCHY (1987), em duas formas de aplicação. A primeira é apenas aplicada de forma isolada, chamada de manutenção catastrófica ou manutenção bombeiro. A segunda, aplicada como um complemento da manutenção preventiva, pois nesta, sempre haverá uma parte das falhas que necessitem de ações corretivas. Esse tipo de manutenção também é conhecida como manutenção por melhorias.

2.2.2 Manutenção preventiva

Na MB, de acordo com o EMA-420 (BRASIL, 2002b, p. 3-3), a MP é planejada com antecedência para reduzir ou evitar falhas, diminuição de desempenho ou possibilidade de avarias, por meio da manutenção ou substituição do sobressalente. Ela é aplicada em intervalos de tempo determinados e apresenta, em geral, bons resultados na segurança do pessoal e das instalações.

Desde a década de 1970, a MP vem sendo menos utilizada em detrimento da mudança para uma MPR, principalmente devido aos custos elevados para sua aplicação. Segundo Kardec e Nascif (2015, p.32), através da análise de diversas empresas, o emprego eficiente da MP se dá apenas em alguns casos, nos que são impossibilitados de aplicar a MPR pela ausência de parâmetros ou métodos de medição que consigam identificar a situação operacional do equipamento, ou ainda, quando a maioria da amostragem do equipamento tem incidência grande de falhas a partir de uma idade definida do material. Também se torna importante a MP, desconsiderando o alto custo, quando é necessária a prioridade total aos requisitos de segurança pessoal e material, devido aos altos riscos, os quais existem nas usinas nucleares.

2.2.3 Manutenção preditiva

De acordo com o EMA-420 (BRASIL, 2002b, p. 3-3), A MPR abrange um conjunto de tarefas realizadas a partir da medição e acompanhamento de parâmetros de desempenho, objetivando caracterizar, acompanhar, diagnosticar e analisar a evolução do estado de sistemas e equipamentos. Ela orienta o planejamento e a execução das ações de manutenção quando forem necessárias, prevenindo a ocorrência de falhas e aumentando a disponibilidade ao permitir a operação continuada do item pelo maior tempo possível.

Com base nas definições, alguns fatos se tornam relevantes, como a importância da MPR para a redução da utilização das MP e MC não planejada, além do aumento da disponibilidade das máquinas, as quais são executadas, tendo como consequência também a elevação da confiabilidade no material. Por outro lado, cabe ressaltar a necessidade de acompanhamento dos parâmetros para saber tempestivamente a situação operacional do equipamento.

2.2.4 Manutenção detectiva

A manutenção detectiva (MD) não está referenciada na MB. Para Kardec e Nascif (2015, p.65), a MD é baseada na verificação das funções dos sistemas e equipamentos, com a realização de testes funcionais de dispositivo de proteção, controle e comando, a fim de detectar as falhas que estejam ocultas, ou melhor, não evidentes dos operadores. Juntamente com a MPR, a MD está tendo um papel muito importante na confiabilidade dos equipamentos. Elas possuem uma diferença importante que reside no fato da MD não ter a função de prever falhas, porém ela as descobre depois ou durante seu acontecimento, não estando perceptível para os operadores. Após esta descoberta, pode-se realizar a MC para corrigir a falha e continuar a operação normal da máquina.

2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

Na MB, a MCC não está nas normas EMA-400 e EMA-420. Está somente abordada nas publicações sobre Apoio Logístico Integrado (ALI), MATERIALMARINST 33-01 e DGMM-0130. Observa-se a ausência da MCC nas normas principais de logística elaboradas pelo Estado-Maior da Armada.

A norma DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 5-1), posiciona a MCC como uma das fases do ALI e define como um processo estruturado para selecionar atividades de

manutenção nos projetos de aquisição e de construção dos meios navais. Já a MATERIALMARINST 33-01 (BRASIL, 2010, p.2) define MCC como uma análise do projeto de um sistema, buscando identificar a manutenção que deve ser realizada de forma programada para preservar a confiabilidade e evitar avarias.

Pode-se observar que não é citada em nenhuma das publicações da MB, a MCC como instrumento de importância para a revisão contínua do Sistema de Manutenção Planejada (SMP), e isso ocasiona em um desconhecimento parcial de suas particularidades pelos operadores da MB, além da deficiência na formação dos militares em assuntos relativos à gerência de manutenções, principalmente focadas em MCC e MPR.

2.4 Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA)

De acordo com a DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 2-5), FMEA é uma abordagem que possibilita a identificação e a priorização das falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos.

Trata-se de um sistema, o qual com base na hierarquia dos modos de falha, classifica as falhas pelo seu nível de severidade, ocorrência e detecção, apontando qual ações deveram ser tomadas prioritariamente para diminuir os riscos de uma quebra.

É utilizada na MCC com o propósito de avaliar, documentar e priorizar o potencial da falha, buscando como prevenir ou corrigir. Muitas vezes a FMEA se torna muito extensa devido a número elevado de modos de falha, podendo ocorrer devido ao tamanho e complexidade do sistema analisado. Para combater essa questão e não perder sua eficiência, existe a Análise do Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (FMECA), onde tem como objetivo a busca apenas dos modos de falhas que são realmente críticos para justificar ações adicionais.

2.5 Parâmetros da confiabilidade

A taxa de falha mede, através de testes, experiência de campo e o histórico de falhas ocorridas, uma previsão de falhas que ocorrerão durante um período específico, pode também ser mais facilmente calculada através da divisão do número medido de falhas pelo período de tempo da medição.

Para representar, de forma gráfica, o comportamento da taxa de falhas citadas no parágrafo anterior, temos, de acordo com a DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 2-2), a

conhecida curva da Banheira, a qual se divide em três partes: partida ou mortalidade infantil (falhas prematuras), vida útil ou vida adulta (falhas aleatórias) e fim de vida econômica ou fase de desgaste (falhas por desgaste), conhecida também como obsolescência.

Figura 1 – Curva da Banheira

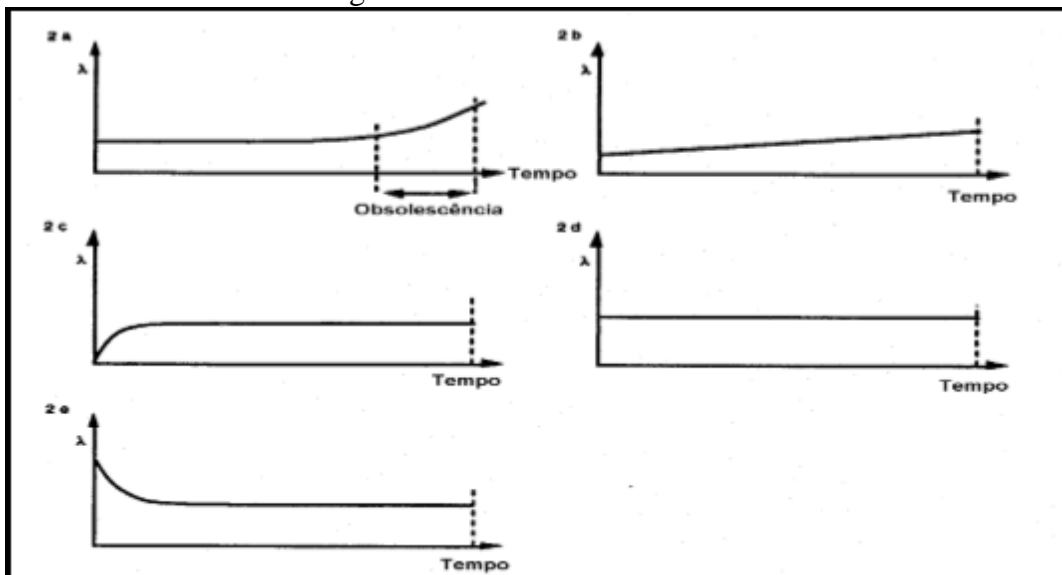


Fonte: DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 2-3)

Na Figura 1, estão representadas as três fases de operação do equipamento e suas probabilidades de falha.

Quanto mais complexo é o equipamento, outras curvas representam sua taxa de falha, se aproximando das curvas 2d e 2e, vistas na Figura 2.

Figura 2 – outras curvas de falhas



Fonte: DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 2-3)

Conforme os sistemas são mais complexos, tendem a possuir o gráfico mais linear com a taxa de falhas, porém devemos observar as amostras de tempo entre falhas obtidos através dos históricos de manutenção e aí compará-los com as estatísticas.

3. MANUTENÇÃO NA MB

A partir da década de 1960, a função logística manutenção se desenvolveu com as construções navais realizadas no AMRJ, em estaleiros particulares, na Alemanha e no Reino Unido, destacando-se as FCN e os submarinos da classe Humaitá.

Segundo Barboza (2004, p. 110) o acordo entre o Brasil e os EUA assinado em 1952, viabilizando o recebimento de navios da marinha dos EUA (USN) utilizados na Segunda Guerra Mundial, fez com que desestimulasse a construção naval militar no país e o desenvolvimento da atividade de manutenção que, pela falta de um sistema planejado e a grande disponibilidade de peças de reposição, era caracterizada, sobretudo, pela corretiva não planejada.

Com a chegada das FCN, foi criado o SMP, com rotinas de manutenções, procedimentos, qualificação de mantenedores e sobressalentes definidos. Mantendo a utilização de MP de acordo com a manutenção conduzida pelo Reino Unido em seus navios, na época da aquisição pelo Brasil.

Esse modelo utilizado nas FCN, baseado nas MP, foi conduzido pela MB nos últimos 40 anos, enquanto outras marinhas reconhecidas como imponentes tem se atualizado bastante neste assunto durante este período. A utilização da MP, ocasiona um grande custo com as manutenções, devido a trocas constantes de itens que nem estão desgastados e também com as falhas aleatórias ocorridas nos diversos equipamentos.

3.1 Tipos de manutenção empregados na MB

Os SMP utilizados nas FCN, serviram de base para as corvetas classe Inhaúma (CCI) e corveta Barroso, mantendo a MP como a principal. Para quantificar as manutenções utilizadas na MB, foi conduzida uma pesquisa no banco de dados da DEN, com as rotinas de manutenção das FCN, CCI, corveta Barroso e as fragatas classe Greenhalg (FCG), navios adquiridos pela MB em 1996, porém utilizados desde a década de 1980 pelo Reino Unido.

A pesquisa incluiu todas as rotinas de manutenção dessas classes de navios, possibilitando a análise percentual de cada tipo de manutenção do SMP, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

A MP abrangeu as rotinas compreendidas nas seguintes categorias:

- a) Inspeção preventiva (InsPrev): verificações conduzidas sem a medição de parâmetros de monitoramento da condição;
- b) Restauração preventiva (RestPrev): revisões programadas que pressupõem gastos de material, mão de obra especializada ou contratação de serviços;
- c) Substituição preventiva (SbtPrev): substituição completa do item com base no tempo de funcionamento.

A MPR incluiu as ações de medição e acompanhamento da condição, como a medição de vibração de equipamentos rotativos, diagnose de motores, teste da qualidade dos lubrificantes e controle de parâmetros elétricos.

Na MD, foram incluídos os testes de descoberta de falhas ocultas em dispositivos de controle e proteção de equipamentos e sistema de armas.

TABELA 1
Distribuição das rotinas de SMP por tipos de manutenção - Brasil

Classe Navio	Total de rotinas	MP				MD	MPR
		InspPrev	RestPrev	SbtPrev	Total MP		
FCN <i>1972</i>	3.847	1.096 (28,5)	1.301 (33,8)	249 (6,5)	2.646 (68,8)	969 (25,2)	232 (6)
CCI <i>1983</i>	2.554	613 (24)	1.052 (41,2)	168 (6,6)	1.833 (71,8)	576 (22,5)	145 (5,7)
Cv Barroso <i>1994</i>	2.001	469 (23,4)	763 (38,1)	165 (8,2)	1.397 (69,7)	500 (25)	104 (5,3)
FCG <i>1975</i>	3.644	991 (27,2)	979 (26,8)	189 (5,2)	2.159 (59,2)	1.126 (30,9)	359 (9,9)

Fonte: Banco de dados SisSMP da Diretoria de Engenharia Naval.

Nota: a) valores entre parênteses representam a distribuição percentual dos tipos de manutenção pelas classes de navios;
b) valores em *itálico* correspondem ao ano de início da construção do navio ou do primeiro navio da classe.

Analisando a Tabela 1, observa-se que mesmo com os mais de 20 anos que separam as FCN da corveta Barroso, não houveram mudanças no tipo predominante das rotinas de manutenção aplicadas. Já as FCG, houveram mudanças realizadas pelo Reino

Unido, já tendo um aumento nas MD e MPR comparada às FCN e a corveta Barroso, demonstrando um avanço da política de manutenção daquele país, já sendo possível de ser observada desde a década de 1980.

Segundo Kardec e Nascif (2015, p. 72), as empresas mais competitivas mundialmente apresentam uma distribuição de 52% de manutenção preditiva, 31% de preventiva e 10% de corretiva. Pode-se notar que a porcentagem de MP utilizada pela MB, está muito acima dos dados atuais mundial.

As MPR que estão incluídas no SMP, foram iniciadas na década de 1990, fazendo parte dela as medições de vibrações dos equipamentos e análise de parâmetros dos motores e lubrificantes. Além disso, essas manutenções são realizadas pelo Centro de Projeto de Navios (CPN) somente quando há demanda por parte dos navios, ou seja, ocorrendo de fato em situações esporádicas, e não periodicamente, o que as fariam ser parte do cumprimento do SMP.

Segundo Barboza (2004, p. 115), alguns fatores são indispensáveis para o êxito dos processos de evolução da manutenção e de implementação da MPR:

- a) Qualificação das tripulações dos navios nos métodos e instrumentos de monitoramento;
- b) Utilização de banco de dados de manutenção que permita a avaliação rápida e fidedigna dos dados de confiabilidade e disponibilidade;
- c) Implantação de forma planejada e gradual da MCC e MPR, selecionando-se os meios navais, sistemas e equipamentos cujos resultados iniciais podem servir de estímulo para a continuidade do processo de evolução da manutenção.

3.2 Apoio Logístico Integrado (ALI)

Segundo a DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 1-1), ALI é um processo utilizado para planejar e dirigir as atividades associadas à implantação do apoio logístico para os meios e sistemas.

Após a compra das FCN, na década de 1970, e sua consequente alta de indisponibilidade daqueles navios, foi levantada a necessidade de um sistema que fizesse um acompanhamento das manutenções realizadas nos meios, além da disseminação dos resultados alcançados para os órgãos controladores. O Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), através da consulta com a empresa estrangeira *Ketron Inc*, sugeriu o sistema

DISPON para tal função. Porém, conforme relatado na DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 3-13), em 1988, não foram alocados recursos para custeio do DISPON, impedindo assim, a contratação do mesmo para prosseguimento do trabalho.

Neste cenário, foi criado o Sistema de Informações para Apoio Logístico Integrado (SISALI), com o intuito de fazer o papel do DISPON, fazendo com que fosse utilizado diariamente pela tripulação e fizesse a integração com o SMP dos navios, tornando disponível os dados sobre disponibilidades, custos e falhas. Entretanto, após anos de sua concepção, ele não foi implantado e utilizado.

O SISALI faria uma função que se aproxima de modelos de programas de manutenção empregados por outras organizações. Este sistema se torna imprescindível para a MB com a finalidade de controlar a execução das rotinas de manutenção e seus custos, fornecer dados sobre as falhas, modos de falhas e criticidade.

O registro das falhas que acontecem nos equipamentos, ainda é detalhado em sua maioria, no livro histórico de forma escrita, o que dificulta a análise dos acontecimentos e o controle das manutenções.

A situação da manutenção na MB, ressalta a importância e necessidade de reformulação na política de manutenção, atualizando-se com os tipos mais usados, aumentando a confiabilidade e a disponibilidade de seus meios, além da diminuição dos custos de manutenção. No próximo capítulo, será realizada uma análise da implementação das técnicas de FMEA englobadas pela MCC como uma solução para esses desafios descritos.

4. IMPLEMENTAÇÃO DO FMEA

A técnica FMEA faz parte de uma das etapas da MCC, e segundo a DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 4-1), tem o propósito de avaliar, documentar e priorizar o impacto potencial de cada falha funcional, visando definir formas de prevenção ou correção. Comumente, um foco na criticidade é dado, se denominando FMECA.

Será analisado neste capítulo, todas as etapas para a implementação da técnica FMEA, de forma a formular uma proposta para a inserção desta técnica na gestão de manutenção dos navios da MB. Cada item irá tratar de uma etapa, com seus conceitos e particularidades da organização.

4.1 Função

Função do equipamento é o que o operador deseja que ele faça dentro de parâmetros estabelecidos, ou seja, não precisa ser exatamente o que ele tem capacidade de fazer, mas sim o que ele precisa fazer para ter uma operação adequada aos padrões estabelecidos pelo usuário. Um exemplo de descrição de uma função, pode ser o de um compressor de ar de partida, que tem a função de ser capaz de fornecer 350 psi com limite de 20 psi para mais ou para menos, a função descrita seria então: “Fornecer uma pressão pneumática de 350 psi +/- 20 psi”.

Deve-se ter atenção que o mesmo equipamento pode ter apenas uma função principal, porém podem existir outras funções secundárias, mas que devem ser claramente identificadas, pois mesmo uma função que não seja a principal pode ter uma consequência grave se vier a falhar. Se alguma função for apenas aplicada em algumas situações, deve ser identificada, de modo que as falhas funcionais e os modos de falhas fiquem relacionados com o contexto operacional apropriado.

As informações necessárias para a criação da função do item, devem ser obtidas de fontes como banco de dados, manuais de manutenção e operação e da experiência de operadores e projetistas do equipamento, isso se torna exequível no âmbito da MB, visto que os operadores possuem vastas experiências documentadas dos equipamentos do meio, além de existir os engenheiros militares, os quais possuem conhecimento técnico para tal.

4.2 Falhas funcionais

De acordo com a DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 4-2), é definida como a incapacidade de um item desempenhar uma função característica dentro de limites especificados. Portanto, uma falha funcional, pode não ser relacionada à uma quebra do equipamento. Pode ocorrer apenas um desempenho menor do que o previsto na função do item, porém sem a parada do referido. Um exemplo disto pode ser de um compressor de ar de partida, o qual esteja fornecendo menos que 330 psi ou então mais que 370 psi, pois a falha pode ocorrer para baixo do limite inferior, como para cima do limite superior, ocasionando na operação inadequada comparada com a sua função especificada.

4.3 Modos de falha

O modo de falha é uma condição na qual o item se encontra, que pode gerar uma falha funcional do mesmo. Deve ser descrito o acontecimento da falha, como por exemplo “fadiga” e, se possível, a inserção no contexto que o equipamento se encontra.

Torna-se complicado numerar todas as condições que possam gerar uma falha para um equipamento, porém deve-se colocar as condições mais plausíveis de ocorrer, evitando elucubrações quanto à possíveis situações que acabam sendo muito improvável de acontecer. Deve-se criar modos de falha que possuam uma probabilidade de acontecer durante a vida útil do equipamento.

Para se criar um modo de falha, pode-se utilizar o histórico de manutenção do equipamento, daí a relevância de possuir documentadas, todas as falhas ocorridas com o item, além também de suas manutenções aplicadas desde o início de operação do mesmo. Na MB, geralmente os acontecimentos referentes àquele item, são escritos no livro histórico do mesmo, também podendo ser utilizado para o modo de falha, a experiência dos operadores ou situações previstas que estão nos manuais do fabricante.

Um modo de falha do equipamento tido como exemplo neste capítulo, pode ser o “vazamento de ar no atuador, devido ao selo desgastado”.

4.4 Efeitos de falha

Os efeitos de falha são os acontecimentos que ocorrem devido à falha funcional, podendo ser transmitidos também em itens próximos do equipamento, prejudicando sua capacidade operacional, além de efeitos no pessoal e no meio ambiente. Devem ser identificados os acontecimentos que a falha pode gerar, além de descrever exatamente os danos possíveis devido à falha.

Esses efeitos são utilizados para a análise realizada na MCC, com o intuito de serem identificadas as consequências dos mesmos, de modo que as tarefas de manutenção possam ser criadas. Podem ocorrer diversas consequências, tanto no meio ambiente, quanto na segurança do pessoal, portanto, quem analisa, deve identificar o efeito que esse acontecimento irá ter no meio.

Quando aplicado os efeitos de falha à dispositivos de segurança de sistemas, deve-se considerar não somente a função do item protegido, como também a função de quem estar protegendo em estado de falha. Os efeitos de falha que acontecem somente quando acionado o estado de emergência, devem ser considerados e descritos levando em conta que o fato emergencial tenha ocorrido, sendo incluída também na descrição. Como exemplo, um sistema de parada por baixa pressão no compressor de ar de partida, ficaria como “incapacidade de parar o compressor quando a pressão atinge um valor menor que 100 psi”. As informações podem ser encontradas em manuais de manutenção, junto aos fabricantes, relatórios e experiência dos operadores.

4.5 Sequência de elaboração do FMEA

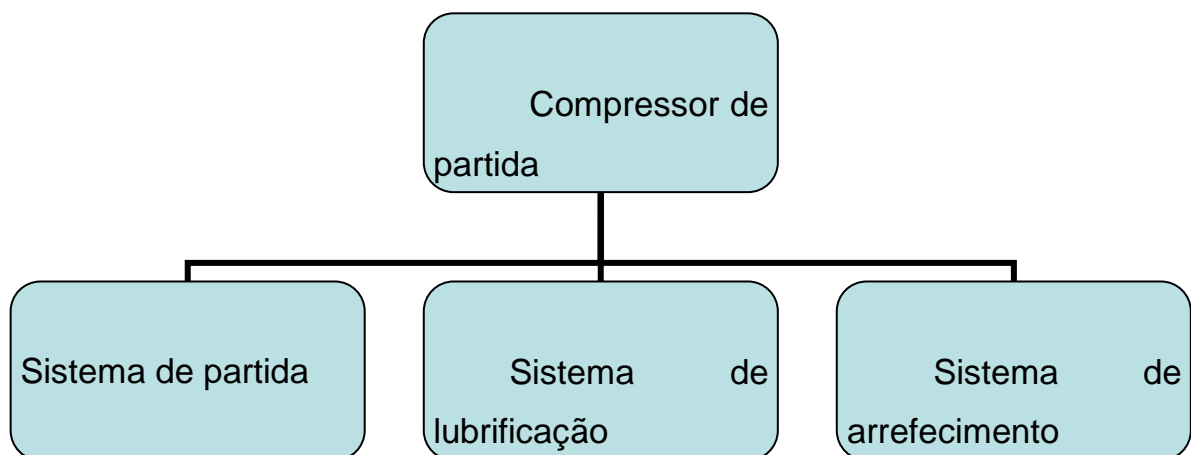
Neste capítulo, será descrito a sequência que deve seguir, a fim de elaborar um método FMEA para ser aplicado na organização. Será analisada cada parte desta elaboração, a fim de contribuir para uma proposta de como essa implementação deve ocorrer na MB.

Antes do início de sua implementação é importante salientar, que a aplicação de forma individual, o FMEA tem dificuldade para atingir sua eficiência de costume, entretanto, quando realizada por uma equipe de pessoas qualificadas, torna-se mais provável o enquadramento total de seus modos de falhas relevantes e que não podem ser esquecidos de maneira alguma na implantação desta técnica de controle de manutenção.

4.5.1 Definição dos itens

Para iniciar a aplicação efetiva do FMEA, é essencial iniciar pela definição dos itens que serão analisados pela referida ferramenta. Para isso, é comum criar organogramas que representem a escala hierarquizada do sistema o qual está incluído o equipamento em análise. Essa hierarquia pode ser representada em forma de diagrama de blocos, em forma de árvore, onde o sistema que engloba os outros está na parte superior, e os demais abaixo, irão sendo distribuídos por suas correlações, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama Organizacional do compressor de ar de partida do navio



Fonte: autor

Para a definição correta do sistema, torna-se necessário o conhecimento de seu início e término, para isso, as fronteiras devem estar bem definidas, não deixando dúvidas de que um determinado componente faça parte de qual sistema. Com isso, a identificação das funções do sistema e seus subsistemas ficam claras, assim como também as falhas funcionais e seus modos de falha, não deixando de considerar nenhum componente.

4.5.2 Coleta de dados

Por conseguinte, os dados devem ser coletados. Como já descrito neste trabalho, a equipe de análise deve juntar todas as informações sobre o item analisado, como por exemplo, relatórios do fabricante, rotinas de manutenção, FMEA realizadas em itens similares, livro histórico, dentre outros. A partir desta lista de dados, devem ser decididos os procedimentos para documentar e registrar as etapas de execução da FMEA.

4.5.3 Identificação dos modos de falhas e seus efeitos

Nesta etapa, após a reunião de todos os dados identificados do item, deve-se registrar todos os possíveis modos de falhas, juntamente com suas consequências, a fim de, posteriormente, serem analisadas as suas criticidades. Cabe ressaltar, a importância de diferenciar os modos de falhas e seus efeitos, onde um modo de falha pode ter mais que um efeito, como por exemplo, se o modo de falha, é a falta de lubrificação do cilindro no primeiro estágio do compressor, o efeito gerado pode ser o desgaste dos anéis de seguimento, como também pode ser o aumento de vibração.

4.5.4 Identificação das causas

As causas das falhas são os acontecimentos que dão origem ao modo de falha. Deve-se analisar as causas, através dos dados levantados anteriormente, como histórico de operação do equipamento, além da experiência dos operadores, quando possível. No exemplo descrito neste trabalho, o modo de falha do desgaste dos anéis de seguimento, como também do aumento de vibração pode ter como causa o vazamento de óleo lubrificante pelo cárter ou a utilização de lubrificante com viscosidade acima do recomendado pelo fabricante. A Tabela 2 apresenta o exemplo relacionando o modo de falha, seu efeito e causa.

Tabela 2 – modo de falha, efeito e causas no compressor.

MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA
Falta de lubrificação do cilindro.	Desgaste dos anéis de seguimento do cilindro.	Vazamento do lubrificante através do cárter.
		Utilização de lubrificante com viscosidade acima do recomendando pelo fabricante.

Fonte: autor.

4.5.5 Número de prioridade de risco (NPR)

É utilizado para classificar as ações, dando prioridade para as que possuem mais riscos, esse número é obtido da seguinte forma:

$$\text{NPR} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}$$

Os conceitos descritos neste capítulo, são baseados nas definições do Manual de Referência da FMEA (IQA, 2008), conforme apresentados nos próximos subitens.

4.5.6 Severidade

É a avaliação de qual é a escala de gravidade do efeito no modo de falha analisado, aplicada somente ao efeito. A severidade é estimada numa escala de 1 a 10, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – critério de severidade do efeito

Efeito	Critério: severidade do efeito	Índice de severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação.	9
Muito alto	Item inoperante, com perda de funções primárias.	8
Alto	Item operante, com desempenho reduzido.	7
Moderado	Item operante, com componentes inoperantes.	6
Baixo	Item operando, com componentes de conforto inoperantes.	5
Muito baixo	Item com forma e ruído alterados, percepção total do efeito.	4
Menor	Item com forma e ruído alterados, percepção média do efeito.	3
Muito menor	Item com forma e ruído alterados, percepção leve do efeito.	2
Nenhum	Sem efeito.	1

Fonte: Manual de referência da FMEA (IQA, 2008, p.10), adaptado pelo autor.

4.5.7 Ocorrência

Este critério mede a probabilidade da causa vir a acontecer. A probabilidade de ocorrência é mais importante que seu valor. Para se alterar esta probabilidade, muitas das vezes, somente alterando o projeto do equipamento, o que nem sempre é possível ou exequível. Possui uma escala de 1 a 10, escalonados conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – critério de ocorrência da falha

Probabilidade de falha	Taxa de falhas possíveis	Índice de ocorrência
Muito alta: falha quase inevitável	>1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: falha frequente	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: falha ocasional	1 em 80	6
	1 em 400	5
Baixa: pouca falha	1 em 2 000	4
	1 em 15 000	3
Remota: falha é improvável	1 em 150 000	2
	< 1 em 1 500 000	1

Fonte: Manual de referência da FMEA (IQA, 2008, p. 14), adaptado pelo autor.

4.5.8 Detecção

Este índice avalia qual a capacidade dos controles exercidos de identificar um modo de falha em potencial, antes de ocorrer a falha propriamente dita. Para melhorar este índice, deve-se melhorar a forma de controle exercida sobre o sistema. Possui uma escala de 1 a 10, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – critério de detecção pelo controle de manutenção

Detecção	Critério: probabilidade de detecção pelo controle de manutenção	Índice de detecção
Absoluta incerteza	Controle irá e/ou não pode detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha; ou não existe controle.	10
Muito remota	Possibilidade muito remota que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	7
Baixa	Possibilidade baixa que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Possibilidade moderadamente alta que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	4
Alta	Possibilidade alta que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	3
Muito alta	Possibilidade muito alta que o controle irá detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	2
Quase certamente	O controle irá quase certamente detectar uma causa potencial e subsequente modo de falha.	1

Fonte: Manual de referência da FMEA (IQA, 2008, p. 16), adaptado pelo autor.

4.5.9 Aceitabilidade de risco

A FMECA, uma variante da FMEA, analisa somente alguns modos de falha selecionados, quando ocorre um número muito grande de número de falhas potenciais, devido ao tamanho do sistema ou sua complexibilidade, inviabilizando um estudo completo de FMEA. O uso do FMECA, ocorre no nível de aceitabilidade de risco e será empregado nos modos de falha incluídos no trabalho. Portanto, deverão ser considerados somente os índices de severidade acima de “5”, os demais abaixo desse valor serão desconsiderados.

4.5.10 Modelo de aplicação

Um modelo com o exemplo sugerido pelo autor para implantação do FMEA na MB, está representado na Figura 4, com o exemplo do compressor de ar de partida, utilizado nos exemplos anteriores deste trabalho.

A parte superior estão os campos que devem identificar o sistema, seu código, o analista, o responsável pela aprovação e a data que foi realizada este FMEA.

Logo abaixo, vem a descrição do item a ser analisado, seus modos de falha, efeitos, o índice NPR, a frequência de falha, métodos de detecção e as providências que devem ser tomadas perante à esses modos de falhas.

Figura 4 – Modelo de formulário de FMEA

NOME DA OM:				DOCUMENTO: FMEA-XX					
ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA				RESPONSÁVEL ELA APROVAÇÃO:					
POSTO DA FALHA		ANÁLISE DA FALHA			AVALIAÇÃO DO RISCO		AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA		
ITEM	COMPONENTE	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	NPR				
					S	O		D	NPR
Compressor de ar de partida	Lubrificação do compressor	Falta de lubrificação	Desgaste dos anéis de segmento do cilindro	Viscosidade do óleo fora do parâmetro	7	6	4	168	Utilizar óleo sem detergente com a viscosidade mínima à 40°C de 100 SU
				Vazamento de lubrificante pelo cárter	9	4	2	72	Verificar nível de óleo no cárter e inspeção do mesmo.
				Aumento da temperatura do cilindro	6	6	1	36	Verificar e substituir filtros de óleo lubrificante e verificar temperatura dos cilindros.

Fonte: Próprio autor (2020).

No exemplo de preenchimento demonstrado na Figura 4, pode-se observar que o mesmo efeito da falha, pode ter causas distintas, e cada uma deve ser analisada separadamente, pois sua hierarquia de criticidade, conforme no exemplo, pode ser distinta entre elas.

Com essa análise dos dados existentes e a teoria já explicados neste trabalho, pode-se chegar a uma conclusão fundamentada de qual modos de falha se deve priorizar, conseguindo combater aqueles que tem uma necessidade maior devido ao acompanhando da severidade, ocorrência e detecção.

5. CONCLUSÃO

A manutenção tem evoluído ao longo da história, suas técnicas estão cada vez mais avançadas e complexas, todo esse contexto corrobora para uma altíssima eficiência no que tange à diminuição de custos, à confiabilidade e à disponibilidade do que se tinha há algumas décadas. Os critérios de análise tornaram-se de suma importância para elencar as ações a serem tomadas, sendo diferenciadas dependendo da função do equipamento e da complexidade do sistema. Nesse contexto, a MCC (onde está inserida a técnica FMEA) vem sendo amplamente utilizada pelas organizações mais avançadas tecnologicamente.

Na MB, apesar de ser citada em algumas publicações, as técnicas FMEA não vêm sendo utilizadas na elaboração e na revisão de programas de manutenção de seus navios. Observa-se também o desconhecimento pelo pessoal dos setores operativos da MB, principalmente nos navios, devido à deficiência de instrução referente ao que tem de mais moderno sobre o assunto.

A dificuldade enfrentada pela MB em manter seus navios operativos e com alta disponibilidade vem aumentando com o passar dos anos. Tal fato explica-se frente aos diversos cortes de orçamento e também à insistência da predominância de MC e MP, as quais já foram amplamente designadas pela literatura especializada, como as que possuem os maiores custos, além de historicamente manter um nível menor de disponibilidade, quando comparadas às MPR e MD.

Por outro lado, a MCC e as técnicas de FMEA ajudam a reformular a política de manutenção. Recomenda-se a quebra do paradigma que ocorre nesta organização no que tange à resistência do que é novo. Esse processo de mudança deverá ser iniciado paulatinamente, objetivando que mediante os resultados iniciais obtidos nos setores que o experimentarem possam influenciar aos demais, demonstrando as inúmeras vantagens trazidas por tal reformulação.

Este trabalho demonstrou como a implantação das técnicas FMEA são exequíveis e necessárias para a MB. Seguindo as etapas já conhecidas e encontradas na literatura especializada, podemos mudar a eficiência da política de manutenção aplicada até então em seus navios.

O sucesso de tal implementação dependerá principalmente da decisão e apoio da alta administração da MB, da instrução que deverá ser realizada com seus integrantes, além da divulgação dos resultados positivos da aplicação dessa metodologia. Há anos, este vem sendo

o caminho de diversas organizações e também das mais poderosas forças navais. Deste modo, as aplicações certamente contribuirão para o aprimoramento da manutenção dos meios navais da Marinha do Brasil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

BARBOZA, T. L. A logística de manutenção na MB e a influência da filosofia de manutenção de outras marinhas no seu desenvolvimento. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 124, n. 4/6, p. 107-131, abr./jun. 2004.

BRASIL. Diretoria-Geral do Material da Marinha. **DGMM 0130**: manual do apoio logístico integrado. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-400**: manual de logística da Marinha. Brasília, DF, 2003b. rev. 2. mod. 1.

_____. **EMA-420**: normas para logística do material. Brasília, DF, 2002b. rev. 2. mod. 1.

_____. **MATERIALMARINST 33-01**: apoio logístico integrado. Rio de Janeiro, 2010.

IQA – INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – **Manual de Referência**. Automotive Industry Action Group, 4ª Edição, 2008.

KARDEC, A.; NASCIF, J. A. **Manutenção: função estratégica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2015. 440 p.

MONCHY, François. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.

_____. **NAVSEAINST 4790.8C**: ships' maintenance and material management (3-M) manual. Washington, D.C., 2015b. 585p. rev. 1. Disponível em: https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/NAVINST/04790-008C_CH-1.pdf. Acesso em: 11 fev. 2020.

SIQUEIRA, I. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Rio Janeiro: Qualitymark, 2005.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014. 408 p.

TAVARES, Lourival A. **Administração Moderna da Manutenção**, Rio de Janeiro, Novo Pólo Publicações e Assessoria Ltda, 1999.