

INFLUÊNCIA DA CORROSÃO NO CUSTO DO PERÍODO DE MANUTENÇÃO DE NAVIOS

“Gerenciamento é substituir músculos por pensamentos, folclore e superstição por conhecimento, e força por cooperação.”

Peter Drucker (1909-2005)

JOÃO CARLOS CASTRO DIAS*

Capitão-Tenente (EN)

MAITÊ GARCIA BRANDÃO TORRES**

Analista de Planejamento

WALLACE DE MATTOS ARAUJO***

Analista de Planejamento

SUMÁRIO

Introdução

Corrosão

Corrosão metálica

Planejamento do PM utilizando ESWBS

Método de determinação de custos da corrosão

Resultados encontrados

Conclusão

INTRODUÇÃO

A implementação de Boas Práticas de Gerenciamento de Projetos no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), dentre as quais merece destaque a criação do Escritório de Gerenciamento de Projetos, em

2012, passando a adotar o *software* Primavera como principal ferramenta gerencial para realizar o planejamento, acompanhamento e armazenamento de informações relativas aos principais projetos executados por aquela Organização Militar (OM), tem proporcionado, nos últimos anos, consideráveis

* Encarregado de Núcleo no Escritório de Gerenciamento de Projetos do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro desde 2012. Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), mestre em Engenharia pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e doutorando em Engenharia Mecânica pela UFF.

** Analista de Planejamento no AMRJ desde 2012. Graduanda em Engenharia Mecânica pela Universidade Estácio de Sá.

*** Analista de Planejamento no AMRJ desde 2014. Graduando em Engenharia Elétrica pela Unisuam.

avanços na forma de atuação do AMRJ, principalmente no que se refere à sua missão.

Entre 2012 e 2015, foram gerenciados cerca de 58 projetos com a utilização do Primavera, todos estruturados seguindo o mesmo padrão de ESWBS (Expanded Ship Work Breakdown Structure), que seria a Estrutura Analítica de Projetos Expandida para Navios organizada de forma hierarquizada, sendo possível, assim, dividir o projeto em “pedaços” menores, melhorando, deste modo o planejamento e o controle.

Tal forma de estruturação já é adotada pela US Navy desde 1985, preconizada na época pela Navseainst 4.790.1A. Segundo a Navseainst 4.790.1B, de 7 de abril de 2007, a estruturação do projeto por ESWBS possibilita a integração da concepção e configuração e dos códigos padrões de logística da estrutura analítica de porta-aviões, submarinos, navios de superfície e sistemas de navios associados. Desta forma, com a estratificação de sistemas, o levantamento de informações gerenciais relacionadas aos projetos é realizada de forma ágil e confiável, favorecendo assim a tomada de decisões estratégicas por parte da alta administração.

Analisando-se os projetos executados pelo AMRJ no período 2012-2015, verificou-se um percentual elevado de recursos dispendidos dentro dos Períodos de Manutenção (PM) no ESWBS de Estrutura do Casco e Acessórios de Serviço, observando-se que boa parte desses recursos eram gastos principalmente em reparos ocasionados pelo processo de corrosão.

A preocupação em combater a corrosão no meio naval data dos primórdios do século XIX, quando, em 1823, Sir Humphrey Davy¹ foi comissionado pelo

Almirantado britânico para estudar uma solução para os problemas de corrosão na chaparia de cobre que revestia o casco de madeira dos navios de guerra de Sua Majestade (Dutra, 2011).

Para se ter uma ideia da dimensão deste problema, segundo dados do *The Annual Cost of Corrosion for Army Ground Vehicles and Navy Ships* (Custo Anual de Corrosão para Veículos Terrestres do Exército e Navios de Marinha), relatório elaborado pelo governo americano, o custo total da corrosão para os navios de combate da US Navy no período 2011-2012 foi de US\$ 3,1 bilhões, o equivalente a 19% do gasto total de manutenção com os navios de combate da Marinha americana.

Por se tratar de um fenômeno muito comum e pelo fato do seu negligenciamento ocasionar sérios danos materiais, com altos custos associados e, em alguns casos, até perda da vida

humana, o presente trabalho busca identificar a influência do custo da corrosão no custo total de um período de manutenção de navio da Marinha do Brasil (MB), utilizando-se para isto a Estruturação do Projeto em ESWBS.

CORROSÃO

Corrosão metálica

A corrosão metálica é conceituada como a destruição dos materiais metálicos pela ação química ou eletroquímica do meio, a qual pode estar, ou não, associada a uma ação física (Dutra, 2011). Com relação ao meio em que pode acontecer, a corrosão pode ser classificada como química, que é aquela em que o metal reage com o meio não iônico, como acontece principalmente



Sir Humphrey Davy

¹ Químico britânico pioneiro na área que hoje conhecemos como Eletroquímica.

no caso de oxidação ao ar a altas temperaturas, e eletroquímica, mais comum, que envolve um transporte simultâneo de eletricidade através de um eletrólito. No que diz respeito às formas segundo a qual a corrosão pode se manifestar, baseando-se principalmente na aparência da superfície corroída, pode ser classificada em:

– Corrosão Uniforme – Acontece de forma homogênea sob a superfície atacada, e sua penetração média é praticamente igual em quase todos os pontos (Figura 1).



Figura 1 – Corrosão Uniforme (Ponte, 2003)

– Corrosão em Placas – Abrange um estágio intermediário entre a corrosão uniforme e a corrosão localizada (Figura 2).



Figura 2 – Corrosão em Placas (Arruda, 2009)

– Corrosão Alveolar – É aquela que produz sulcos ou escavações, na superfície metálica, semelhantes a alvéolos apresentando geralmente furos arredon-

dados e profundidade menor do que seu diâmetro (Figura 3).



Figura 3 – Corrosão Alveolar (Ponte, 2003)

– Corrosão Puntiforme (Pite) – Neste caso, o ataque se processa de forma concentrada na estrutura do material, em pontos isolados, sendo capaz de se propagar no interior do mesmo (Figura 4).



Figura 4 – Corrosão por Pite (Arruda, 2009)

– Corrosão Intergranular – Ocorre geralmente entre os grãos da estrutura cristalina do material metálico (contorno dos grãos), fazendo com que o metal perca suas propriedades mecânicas, podendo vir a fraturar quando estiver sendo submetido a esforços mecânicos (Figura 5).

– Corrosão Filiforme – Se processa sob a forma de finos filamentos que se propagam em diferentes direções sem se cruzarem (Figura 6).

– Corrosão em torno de cordão de solda – São corrosões que acontecem a poucos milímetros do cordão de solda, sendo ocasionadas pelo tensionamento de elétrons devido ao processo de soldagem (Figura 7).

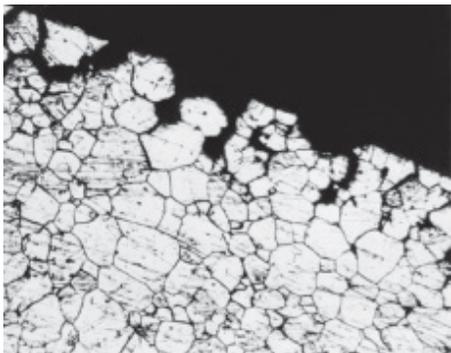


Figura 5 – Corrosão Intergranular (Ponte, 2003)

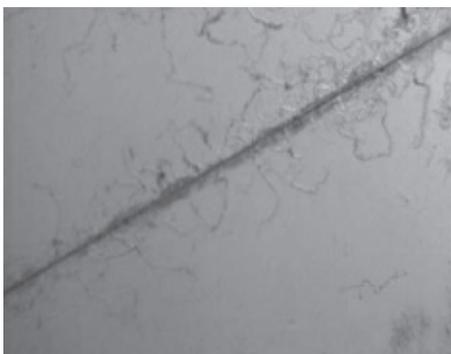


Figura 6 – Corrosão Filiforme (Arruda, 2009)



Figura 7 – Corrosão em torno de cordão de solda (Arruda, 2009)

– Corrosão em frestas – É uma forma de corrosão localizada, associada a estagnação de eletrólitos em micro-ambientes (Figura 8).

– Corrosão por dezinsificação – Ocorre geralmente em ligas de latão (Cu-Zn). Neste caso ocorre o ataque preferencial

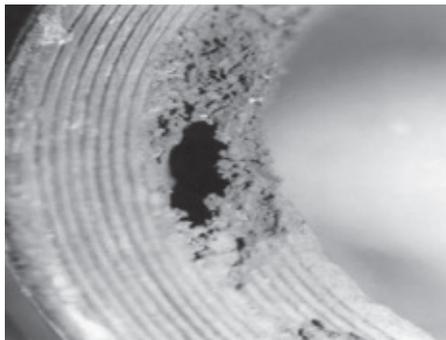


Figura 8 – Corrosão em frestas (Arruda, 2009)

do zinco e do ferro, respectivamente, fazendo com que surjam manchas avermelhadas por conta da exposição do cobre (Figura 9).



Figura 9 – Corrosão por dezinsificação (Arruda, 2009)

– Corrosão gráfitica – Geralmente ocorre em ferros fundidos cinzentos, em presença de um eletrólito. Sendo o grafite um material mais nobre que o ferro, o grafite aí existente age como um cátodo em relação ao ferro, que é então corroído (Dutra, 2011) (Figura 10).



Figura 10 – Corrosão gráfitica (Ponte, 2003)

Não é intenção dos autores se aprofundarem demasiadamente nos aspectos teóricos do processo de corrosão, tendo sido dada apenas uma visão sucinta sobre o assunto. No entanto, há uma literatura bastante vasta sobre o tema para quem possua interesse em se aprofundar.

PLANEJAMENTO DO PM UTILIZANDO ESWBS

Na fase de planejamento do projeto, principalmente no momento da elaboração do cronograma no *software* Primavera, as ordens de serviço (O/S) oriundas dos pedidos de serviço emitidos pelos clientes deverão ser agrupadas de acordo com o sistema do navio a que pertencem, definidos pelo ESWBS. Cada O/S inserida no cronograma de planejamento do projeto deverá conter todos os recursos necessários à sua execução. Tal medida possibilitará que, a qualquer momento da execução do serviço, seja possível obter informações gerenciais, como custos envolvidos, cronograma

físico-financeiro, previsões de prazo baseadas no andamento atual do PM e muitas outras, que poderão ser disponibilizadas de forma macro para todo o projeto ou de forma fracionada relativa a cada sistema e subsistema em que se tenha interesse. Além disso, tal sistemática permite também que seja utilizada a técnica de Análise de Valor Agregado² para cada subdivisão estabelecida para o projeto. A Figura 11 representa parte desta estruturação de um projeto em execução, extraído do *software* Primavera, em que pode ser observada a estruturação no seu segundo nível mais alto, que é o de sistema, até o seu nível mais baixo, que é a Ordem de Serviço. Vale ressaltar que os recursos necessários para execução dos serviços abaixo discriminados foram ocultados da Figura 11.

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE CUSTOS DA CORROSÃO

A fim de se determinar os custos relacionados à corrosão dentro dos serviços

PS - Pedido de Serviço	Descrição da Atividade	Avanço Físico Real	Avanço Físico Ideal
Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro		50,23%	75,28%
Programa de Execução de Atividades		50,23%	75,28%
01 - Estrutura do Casco e Acessórios de Serviço		96,37%	99,97%
0101 - Casco Externo e Apêndices		96,32%	99,97%
010101 - Acima da Linha d'Água		60%	99,63%
0004/9	O/S - 0004/5A - Tratar e Pintar o Costado	60%	99,63%
010102 - Abaixo da Linha d'Água		100%	100%
4000/09	O/S - 4000/5 - Primeiro Período de Docagem	100%	100%
4005/9	O/S - 4005/X - Lavar as Obras Vivas e Linha D'Água (3ª Docagem)	100%	100%
4001/9	O/S - 4001/1 - Segundo Período de Docagem	100%	100%
0102 - Acessórios dos Conveses Externos		100%	100%
010203 - Acessórios dos Conveses Externos		100%	100%
4507/9	O/S - 4507/8 - Efetuar Inspeção Estrutural e Elétrica do Mastro Principal	100%	100%
02 - Arranjo da Propulsão		8,44%	52,92%
Emitir Lista de Sobressalentes do Sistema da Propulsão		100%	100%
Receber Sobressalentes do Sistema da Propulsão		0%	100%
0201 - Sistema de Propulsão Principal		8,44%	52,92%

Figura 11 – Parte de um projeto estruturado por ESWBS (Primavera)

² Técnica para controle e acompanhamento de projetos que integra custos, prazos e progresso físico (Dias, 2015)

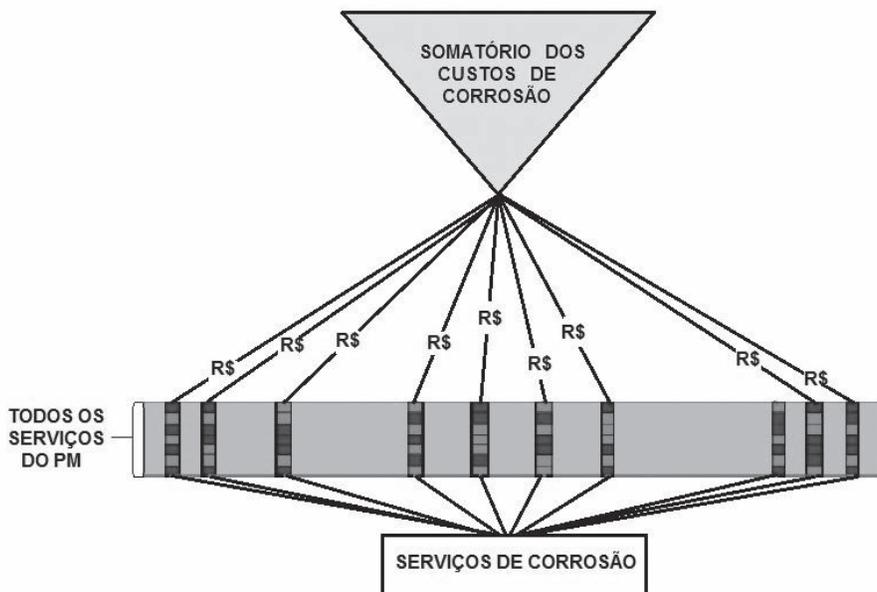


Figura 12 – Método *Bottom-up* de determinação de custos de corrosão (adaptado pelos autores)

executados durante os períodos de manutenção dos meios operativos, foi utilizado o método de *Bottom-Up* (de baixo para cima), em que foram analisadas todas as O/S executadas nos PM, tendo sido segregadas aquelas relacionadas à corrosão, como serviços relativos a reparos estruturais e não estruturais de metais oxidados, inspeções estruturais, tratamento e pintura de superfícies metálicas e substituições de peças e equipamentos danificados pelo processo corrosivo, dentre outros, somando-se posteriormente o custo associado destas O/S para se obter o custo total da corrosão diante dos PM. Vale destacar que tal segregação só foi possível por conta da estruturação dos projetos por meio do ESWBS. Foram analisados seis projetos de diferentes tipos de meios operativos, sendo dois Períodos de Manutenção Geral (PMG) de fragata (uma classe *Niterói* e uma classe *Greenhalgh*), um PMG de corveta, um

PMG de submarino, um PMG de navio polar e um Período de Manutenção Intermediário (PMI) de navio-aeródromo. Foram analisadas cerca de 2.500 ordens de serviço. Os custos encontrados englobam os gastos relacionados a aquisição de material, mão de obra e serviços de terceiros necessários para execução do serviço, além dos custos indiretos envolvidos. A Figura 12 mostra de forma resumida o funcionamento do método *Bottom-Up*.

RESULTADOS ENCONTRADOS

Durante a análise realizada, foi constatado que o custo de manutenção da corrosão representa em média 38% do custo total de um Período de Manutenção, podendo este percentual variar dependendo do tipo e da classe de navio, do tempo em atividade, tipo de operação e porte do meio. A Tabela 1, mostra os resultados encontrados para cada classe de navio analisada.

TABELA 1 – PERCENTUAL DO CUSTO DE CORROSÃO NO CUSTO TOTAL DO PM (Elaborado pelos autores)

Classe de Navio	Ano de Lançamento	Deslocamento (ton)	(%) do Custo da Corrosão
Fragata classe <i>Niterói</i>	1975	3.500	44,47
Fragata classe <i>Greenhalgh</i>	1977	4.400	35,76
Corveta classe <i>Inhaúma</i>	1989	1.970	24,13
Submarino classe <i>Tupi</i>	1987	1.440	39,06
Navio Polar	1974	5.450	21,65
Navio-Aeródromo <i>São Paulo</i>	1960	32.780	81,46
Total (Análise de Valor Agregado)			38,19

Realizando uma análise estatística com uso do Coeficiente da Correlação de Pearson³, percebe-se uma forte relação entre o percentual do custo de corrosão e a idade do meio ($p=0,75$) e entre o deslocamento e o percentual do custo de corrosão ($p=0,89$). Não por acaso, o meio com maior deslocamento e com idade mais elevada foi o que apresentou maior percentual de custo de corrosão dentro do custo de manutenção. Vale ressaltar, entretanto, que, além das variáveis aqui mencionadas, muitas outras que não foram analisadas podem ter relação com os resultados encontrados. Comparando-os com os valores observados no *The Annual Cost of Corrosion for Army Ground Vehicles and Navy Ships*, da Marinha americana, nota-se que o percentual do custo da corrosão obtido para os seis PM analisados é o dobro do observado para a US Navy, 38% e 19%, respectivamente. Alguns fatores podem ter contribuído para esta diferença, tais como: a elevada idade dos nossos meios operativos, as diferenças de tecnologias utilizadas por essas

Marinhas e o tamanho da amostra utilizada em cada pesquisa – seis navios na MB e 256 navios na US Navy.

CONCLUSÃO

A utilização da Estrutura Analítica de Projetos Expandida para navios no gerenciamento de projetos, principalmente no que se refere ao reparo de meios navais, tem possibilitado, nos últimos anos, análises gerenciais mais precisas e um entendimento mais aprofundado do “comportamento” dos projetos, fornecendo, assim, subsídios para tomadas de decisão pela alta administração.

Pela análise de seis períodos de manutenção gerenciados pelo Arsenal entre 2012 e 2015, foi observado que os custos dos serviços relacionados à corrosão tem um peso considerável no custo total de manutenção dos meios (38% em média), o dobro do encontrado na Marinha americana (19%), havendo uma forte correlação entre

³ É o coeficiente que mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre 0 e 1 inclusive, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. O coeficiente pode ser interpretado da seguinte forma:

- 0.9 para mais ou para menos indica uma correlação muito forte;
- 0.7 a 0.9 positivo ou negativo indica uma correlação forte;
- 0.5 a 0.7 positivo ou negativo indica uma correlação moderada;
- 0.3 a 0.5 positivo ou negativo indica uma correlação fraca; e
- 0 a 0.3 positivo ou negativo indica uma correlação desprezível.

o deslocamento e a idade do meio com o percentual do gasto de reparos ocasionados pela corrosão dentro do PM, conforme observado pela análise estatística com o Coeficiente da Correlação de Pearson.

A ampliação desse tipo de análise para outros projetos possibilitará a identificação

de oportunidades de melhoria e, consequentemente, a otimização da utilização de recursos, fazendo com que se possa atingir um novo patamar de gerenciamento dentro da instituição, contribuindo assim para que o Arsenal continue cumprindo seu lema de “Tradição em fazer bem feito”.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Corrosão; Construção naval; Manutenção de navios;

REFERÊNCIAS

DEPARTMENT OF THE NAVY, Expanded Ship Work Breakdown Structure (ESWBS) for all Ships and Ship Systems. Nav Sea Instruction 4790.1A, 1985.

DEPARTMENT OF THE NAVY, Expanded Ship Work Breakdown Structure (ESWBS) Hierarchical Structure Code (HSC) for Ships, Ship Systems, and Surface Combatant Systems. Nav Sea Instruction 4790.1B, 2007.

LMI GOVERNMENT CONSULTING, The Annual Cost of Corrosion for Army Ground Vehicles and Navy Ships, 2012.

PONTE, H, A. Eletroquímica Aplicada e Corrosão, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003.

ARRUDA, E, A. Estudo comparativo do processo corrosivo do aço patinável e do aço carbono comum, Belém: Universidade Federal do Pará, 2009.

DUTRA, A,C., Proteção Catódica – Técnicas de combate à corrosão. 5ª Edição, Editora Interciência, 2011.

DIAS, C.J.; WANDERLEY, J.O.; TORRES, M.G. Aplicação de análise de valor agregado para avaliação de desempenho de projetos em um estaleiro militar. *Revista Marítima Brasileira*, 3ª/2015.