

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

**JORGE DE SOUZA BARCELOS FILHO**

**INSPEÇÃO DE TANQUES ESTRUTURAIS EM EMBARCAÇÕES**

**RIO DE JANEIRO-RJ**

**2016**

**JORGE DE SOUZA BARCELOS FILHO**

**INSPEÇÃO DE TANQUES ESTRUTURAIS EM EMBARCAÇÕES**

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

Orientador: Professor **Ricardo Barreto.**

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**JORGE DE SOUZA BARCELOS FILHO**

**INSPEÇÃO DE TANQUES ESTRUTURAIS EM EMBARCAÇÕES**

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

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

Orientador: Professor Ricardo Barreto

---

Assinatura do Orientador

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida, pela saúde, pelas oportunidades, pelas providências e pelas bênçãos que tornaram possível tal êxito. Por ter inspirado e dado força para não desistir diante dos diversos obstáculos desta caminhada.

Aos meus pais, por ter apoiado sob todas as circunstâncias, não permitindo que desanimasse e dando sempre exemplo de força e garra. A minha esposa que foi sempre compreensiva com as ausências em virtude deste crescimento pessoal e deram apoio incondicional.

Ao amigo, mestre e orientador, de admirável inteligência e disposição, além de ser um excelente profissional na Marinha Mercante. Sem esquecer da maneira como sempre orientou, corrigiu e preparou suas provas para que estivéssemos prontos para a carreira, sem nos esconder a realidade, tornando caminho mais duro, porém necessário para uma vitória mais animadora e certa.

A todos os nossos amigos e colegas do curso APMA ou de trabalho que de alguma forma colaboraram para que fosse possível a conclusão deste trabalho e aqueles que acompanharam durante toda a caminhada.

Também devemos agradecimentos ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha que nos acolheu de uma forma generosa e permitiu que mesmo diante das dificuldades, pudéssemos realizar o curso.

## RESUMO

Esta monografia tem por objetivo mostrar a responsabilidade por inspecionar o que outros já projetaram e construíram. Que tem o dever de garantir a segurança de todos e também contribuir para a manutenção da saúde do meio ambiente de forma que o desenvolvimento seja sustentável e não destruidor, uma vez que quando estes tanques vazam, seus fluidos podem ser mortais para a fauna e a flora local. Sendo assim, vamos abordar um tema que está relacionado com as inspeções dos tanques estruturais de embarcações, independente do que seja carregado nestes tanques e do tipo de embarcação. O foco principal é explicar os processos de corrosão, deformação e trincas que acontecem dentro desses tanques, como acontecem e a importância de detectar tais problemas o quanto antes e como são feitos tais reparos. E ainda, falar um pouco, também, sobre o surgimento da necessidade de fazer tais vistorias e como foram criadas leis e regulamentos nacionais e internacionais, de forma que elas fossem padronizadas e assim garantissem uma operação mais segura, desta forma, as seguradoras começaram a se basear nessas inspeções como garantia.

Palavras-chave: Embarcações. Tanques. Seguradora. Regulamentação. Norman. Corrosão. Trincas. Deformações.

## **ABSTRACT**

This course conclusion work aims to show that engineers are also responsible for inspecting what the others has designed and built. It has a duty to ensure the safety of all and also contribute to the maintenance of environmental health, so that the development is sustainable and not destructive, once we have a leak in these tanks, fluids can be mortal to the local maritime life. So let us address a topic that is related to the structural inspections of vessel tanks, regardless of what is charged in these tanks and the type of vessel. The main focus is to explain the corrosion processes, deformation and cracks that occur within these tanks, as they happen and the importance of detecting such problems as soon as possible and how it has been repaired when happens. More than that, we are going to talk about the emergence of the need to make such inspections and that as national and international laws and regulations were created, so that they were standardized and thus guarantee a safer operation, in this way, insurers began to rely on these inspections as collateral.

**Keywords:** Vessels. Tanks. Insurance. Regulation. Norman. Corrosion. Cracks. Deformations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b>	Vista da parte de ré de um casco de uma embarcação	12
<b>Figura 2:</b>	Vista em corte de uma estrutura de um casco de uma embarcação	12
<b>Figura 3:</b>	Vigas e chapas longitudinais	13
<b>Figura 4:</b>	Acidente Petroleiro Exxon Valdez.	16
<b>Figura 5:</b>	Desvio de inspeção típica e inspeção baseada em risco	23
<b>Figura 6:</b>	Sistema de inspeção baseada em risco	24
<b>Figura 7:</b>	Pitting	27
<b>Figura 8:</b>	Condição do tanque antes da aplicação de revestimento	30
<b>Figura 9:</b>	Estrutura interna de um fundo duplo após o revestimento	30
<b>Figura 10:</b>	Aplicação correta do revestimento, condição do tanque de lastro após 13 anos	35
<b>Figura 11:</b>	Aplicação pobre de revestimento, condição do tanque de lastro após 13 anos	36
<b>Figura 12:</b>	Trinca por fadiga nas chapas da caverna transversal de um tanque de lastro em um navio petroleiro de casco simples	37
<b>Figura 13:</b>	Degradação prematura do revestimento (bolhas) após 5 anos de serviço, tanque mostrado após os reparos serem realizados	41
<b>Figura 14:</b>	Perda Estrutural devido a corrosão.	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>EMBARCAÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Estrutura de uma embarcação</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Casco de uma embarcação</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Vigas e chapas longitudinais</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>HISTÓRICOS</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Acidentes históricos</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Principais causas dos acidentes de navegação</b>	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>Legislação Internacional</b>	<b>16</b>
<b>3.4</b>	<b>Legislação Nacional</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>AS SOCIEDADES CLASSIFICADORAS</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>O CONCEITO DE INSPEÇÃO BASEADO EM RISCO</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Técnicas de análise de risco</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS DURANTE INSPEÇÕES EM TANQUES DE EMBARCAÇÕES</b>	<b>27</b>
<b>6.1</b>	<b>Pintura</b>	<b>27</b>
<b>6.2</b>	<b>Fadiga</b>	<b>30</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Conceito de fadiga</b>	<b>31</b>
<b>6.3</b>	<b>Determinação de tensão de fadiga</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>INTEGRIDADE ESTRUTURAL E SEUS PRINCIPAIS FATORES</b>	<b>34</b>
<b>7.1</b>	<b>A falta de requisito mandatório de fabricação do navio</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>PROCEDIMENTOS PARA O ACOMPANHAMENTO DE FABRICAÇÃO DO NAVIO DURANTE A FASE DE CONSTRUÇÃO E INSPEÇÃO</b>	<b>39</b>
<b>8.1</b>	<b>Estudos de caso</b>	<b>40</b>
<b>10</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Embarcações graneleiras, unidades FPSO, unidades de perfuração e outros tipos de estruturas oceânicas são projetados para períodos longos de operação, em decorrência, por um lado das limitações de movimentação, mas principalmente, das dificuldades operacionais associadas à interrupção do processo de produção.

Embora navios não possuam as limitações mencionadas, a redução do número de docagens também é desejável em função da redução tanto do tempo fora de operação, e respectiva redução de ganho com fretes, quanto da simplificação logística; decorrente da eliminação da busca por estaleiros para docagem, cada vez mais concorridos com o aumento da frota mundial, ou da redução do custo de manutenção de um estaleiro de docagem próprio.

Para se racionalizar a manutenção de navios (ou outros tipos de estruturas oceânicas) é necessário desenvolver estratégias alternativas aos procedimentos vigentes, baseados em docagens periódicas e procedimentos de inspeção que permitam assegurar um grau de confiança maior.

No âmbito internacional é crescente a preocupação com a segurança marítima e a proteção do meio ambiente. Em termos de impacto imediato, as causas da poluição marinha mais relevantes resultam de acidentes que provocam o derramamento de petróleo.

Uma abordagem dos principais acidentes históricos é realizada para destacar a importância de assegurar condições seguras que garantam a integridade de um navio ao longo de sua vida útil.

As normas emitidas pelas sociedades classificadoras regem que o navio foi projetado e construído de acordo com regras de determinada sociedade classificadora, porém não implicando e não devendo ser interpretado como garantia irrestrita de segurança.

## 2 EMBARCAÇÕES

Inicialmente, compreendemos que uma embarcação é uma construção cujo objetivo é navegar, tanto no mar, como em lagos, rios, etc., independentemente do tamanho, forma de propulsão, função ou material de construção transportando pessoas ou cargas.

O projeto dessas embarcações só é possível com a análise dos elementos estruturais fundamentais a qualquer tipo de embarcação. Cabe a engenharia naval a definição da estrutura de uma embarcação, a distribuição de todos os componentes e o projeto, instalação e funcionamento de seus equipamentos.

O planejamento da estrutura e dos componentes de uma embarcação tornou-se progressivamente mais complexo, devido aos inúmeros acidentes e desastres ambientais decorrentes de vazamentos de tanques com casco simples, além da destruição de navios gigantescos como o Titanic, por exemplo, e ainda também devido à automatização dos controles de navegação e dos instrumentos propulsores, de refrigeração e outros. Assim, a engenharia moderna não se limita a aperfeiçoar métodos de construção de navios, mas se dedica ativamente ao desenvolvimento de aparelhos de manobras e navegação automáticas, como o piloto automático, que mantém o rumo e dispensa a permanência do timoneiro no controle da embarcação, como a criação de um casco duplo com a intenção de uma melhor contenção de vazamentos.

Os modernos transatlânticos e petroleiros de grande tonelagem dispõem também de uma vasta infraestrutura de manutenção.

Os fundamentos da construção naval, no entanto, permanecem inalterados desde que se começou a empregar o metal. Entre eles se contam a forma do casco, a distribuição geral do volume interno do navio e a definição da seção transversal.

Contudo, abordaremos de maneira simplória, uma introdução sobre a análise do arranjo estrutural de uma embarcação e descreveremos alguns elementos importantes a estrutura do navio. Além de um breve histórico mostrando como começaram as inspeções e as leis que as regem.

### 2.1 Estrutura de uma embarcação

É considerado embarcação toda construção flutuante, capaz de transportar cargas, resistir, sem sofrer falhas por fraturas ou por deformações permanentes, a ações do ambiente e de sua própria operação, portanto sua estrutura pode ser comparada a uma viga, uma vez que

é projetada para resistir ao momento fletor longitudinal, o esforço primário da embarcação. Logo, essa estrutura deve ser composta de material contínuo no sentido longitudinal, de popa a proa (Proa = é a região da extremidade de vante da embarcação. Estruturalmente, tem a forma exterior afilada para melhor cortar a água e Popa= é a região da extremidade de ré da embarcação e sua forma exterior é projetada para facilitar o escoamento da água e para tornar a ação do leme e do hélice mais eficiente.) e o chapeamento deve ser estanque. Essa continuidade estrutural é importante, pois os membros estruturais devem ser capazes de suportar as cargas e as transmitir ao resto da estrutura, evitando-se assim as concentrações de tensões. O alinhamento e a união de membros estruturais contínuos são de extrema importância.

A estrutura pode ser dividida em 3 partes:

- a) Primária: considerando-se o navio uma viga, é fundamental saber que este é um corpo, que se deforma na presença dos esforços devido as pessoas e flutuações. A deformação é causada pelas tensões impostas aos componentes estruturais do casco.
- b) Secundária: consiste de um chapeamento (Chapeamento é o conjunto de chapas que compõem um revestimento ou uma subdivisão qualquer do casco dos navios metálicos. As chapas dispostas na mesma fileira de chapeamento constituem uma fiada de chapas.) reforçado por perfis leves e pesados, ou seja, parte integrante da viga do navio, contribuindo para a sua resistência. Para o dimensionamento secundário os perfis são divididos quanto: - Ao tamanho: leves e pesados; - À direção em que se dispõem: longitudinal e transversal.
- c) Terciária: tem a função dupla de contribuir para a resistência primária e na resistência pressão lateral sobre o casco. Sua continuidade estrutural garante a estanqueidade do casco e sua área transversal contribui significativamente para a inércia da viga navio. É composta pelas anteparas, reforços no nível secundário, reforços transversais, reforços longitudinais e chapeamento

Podemos dizer que o esqueleto (estrutura) do navio é constituído por uma combinação de dois sistemas de vigas: as vigas longitudinais e as vigas transversais, além dos reforços locais que completam a estrutura fazendo a ligação entre as demais peças, ou servem de reforço a uma parte do casco.

São considerados compartimentos as subdivisões internas de um navio. As principais divisões são: Compartimentos estanques; duplo fundo; tanque; tanques de óleo; tanques fundos; Cóferdã ou coferdam; tanques de colisão; túnel do eixo; paiol de amarra; camarotes; câmara; camarim, entre outros.

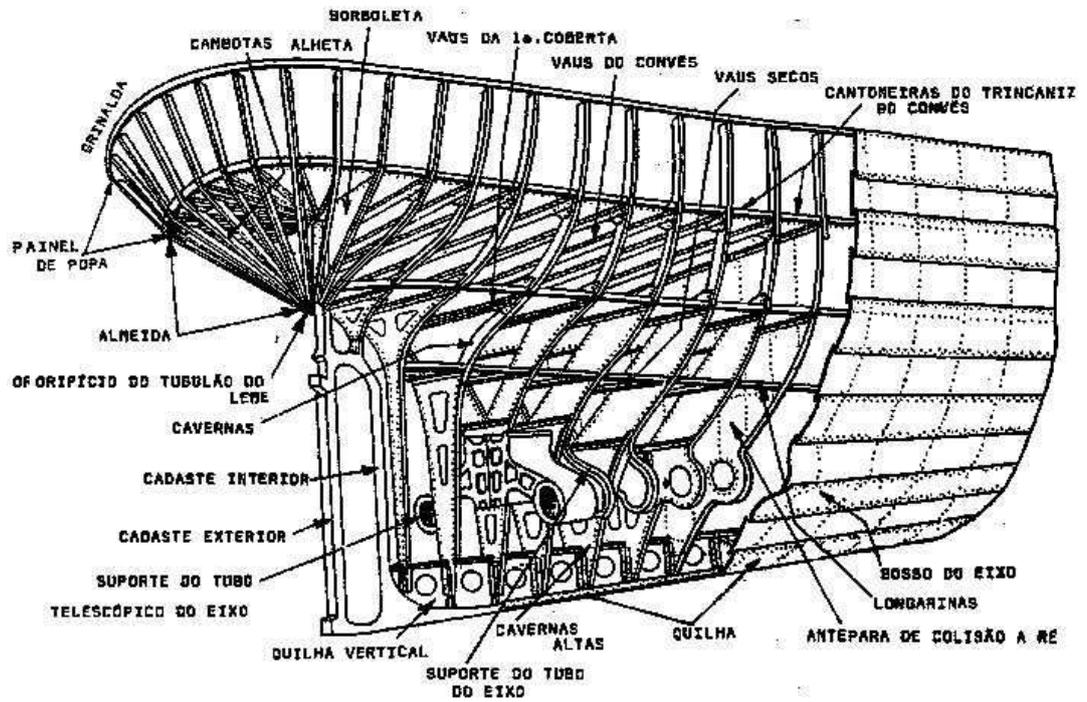
## 2.2 Casco de uma embarcação

Entende-se como o invólucro exterior de qualquer embarcação em que sua flutuabilidade depende da sua estanqueidade, ou seja, caso haja algum problema com a sua estanqueidade o navio corre risco de afundar.

Este “invólucro” é dividido em várias partes em que compõe junto com o esqueleto da embarcação, tais como:

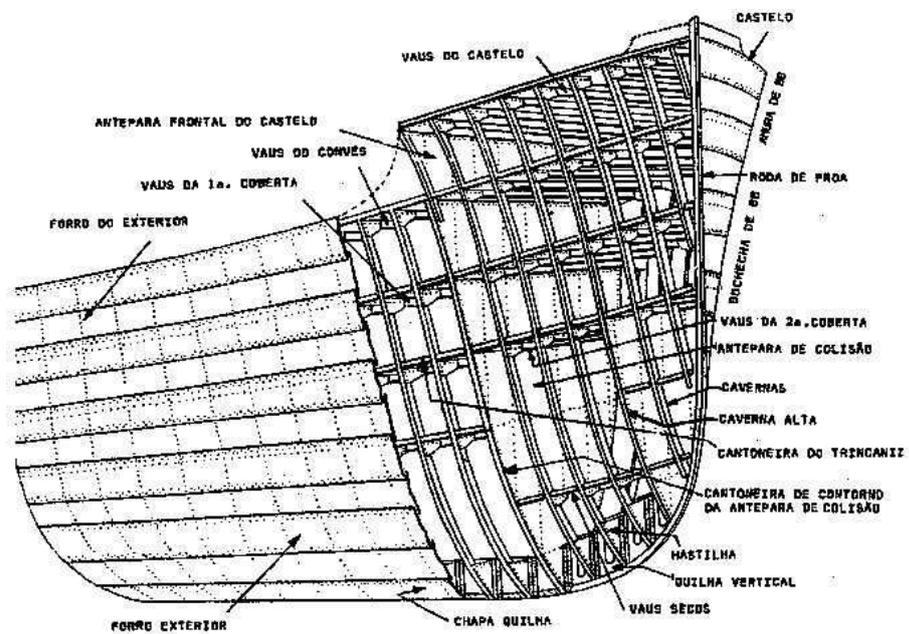
- a) **Balizas** - São vigas que se desenvolvem da quilha, em planos transversais, de forma geralmente curva, podendo ser lineares (balizas reviradas, nos extremos da embarcação) ou em "L", a meia-nau. No fundo da embarcação, ligam-se as chapas verticais (chapas de caverna, que aumentam a resistência do navio) para formar o duplo fundo do navio, ou as chamadas "cavernas". Estas chapas de caverna são perfuradas por orifícios denominados boeiras, cuja função é permitir a passagem de pessoal para eventuais inspeções, assim como escoar fluidos que, entretanto, se aglomerem. Ao conjunto de balizas é dado o nome de cavername.
- b) **Vaus** - Vigas horizontais que unem as balizas entre si segundo um plano transversal. Apoiam-se em esquadros montados nas balizas. Os esquadros são peças, geralmente triangulares, que aumentam a resistência da junção.
- c) **Longarinas** - Vigas horizontais que unem igualmente as balizas entre si, contudo, segundo o plano longitudinal da embarcação.
- d) **Quilha** - Chapa ou viga mestra do navio. Costuma ser a primeira peça a ser assentada durante a construção de qualquer embarcação. Constitui a espinha dorsal da embarcação e percorre todo o seu comprimento, desde a roda de proa (chapa enformada onde convergem a quilha, as balizas reviradas da proa e as longarinas; é a parte do navio que corta a água) até ao cadaste (semelhante à roda de proa mais à popa).

**Figura 1:** Vista da parte de ré de um casco de uma embarcação



Fonte: Livro Arte Naval.

**Figura 2:** Vista em corte de uma estrutura de um casco de uma embarcação



Fonte: Livro Arte Naval.

### 2.3 Vigas e chapas longitudinais

As vigas e chapas longitudinais contribuem, juntamente com o chapeamento exterior do casco e o chapeamento do convés resistente, para a resistência aos esforços longitudinais, que se exercem quando, por exemplo, sofre com a ação de ondas; são as seguintes: Quilha – Peça disposta em todo o comprimento do casco no plano diametral e na parte mais baixa do navio.

**Figura 3:** Vigas e chapas longitudinais



Fonte: [http://www.geocities.ws/g\\_anjos/estrnavio.htm](http://www.geocities.ws/g_anjos/estrnavio.htm).

Constitui a “espinha dorsal” e é a parte mais importante do navio, qualquer que seja o seu tipo; nas docagens e nos encalhes, por exemplo, é a quilha que suporta os maiores esforços. Longarinas ou longitudinais – Peças colocadas de proa a popa, na parte interna das cavernas, ligando-as entre si.

### **3 HISTÓRICO**

O homem tem lidado com as dificuldades de armazenamento de petróleo e seus derivados a mais de 140 anos. Inicialmente armazenava-se esses produtos em barris de madeiras. Os primeiros tanques de aço eram pequenos, feitos de aço galvanizados e rebitados. Os primeiros tanques soldados surgiram entre 1920 e 1930. Com o crescimento das indústrias após a Segunda Guerra Mundial, as necessidades foram sendo identificadas nesta área, principalmente quanto a questão de perda e riscos provocados pela vaporização dos fluidos derivados do petróleo. Aos poucos o homem começou a identificar que os custos reduziam quando o volume de armazenagem aumentava. Surgindo assim projetos de tanques cada vez maiores. Seguido do desenvolvimento de normas e códigos envolvendo este tipo de equipamento e vindo a se tornar constante para atender as constantes mudanças de cenários. Tanques de armazenamento inicialmente parecem trata-se de um equipamento simples e fácil de lidar, porém os riscos que envolvem estes equipamentos exigem atenção desde a fase de projeto até a sua desativação e consequente retirada do local onde foi instalado, existindo normas e procedimentos para toda atividade relacionada.

#### **3.1 Acidentes históricos**

No âmbito internacional é crescente a preocupação com a segurança marítima e a proteção do meio ambiente. A segurança marítima é considerada de vital importância no contexto do desenvolvimento sustentável. Parte-se da premissa de que o desenvolvimento sustentável relaciona-se à transportes sustentáveis. Pretende-se analisar a poluição marinha decorrente de acidentes da navegação que resultam, especificamente, em derramamento de petróleo. O transporte de petróleo é responsável por metade do transporte marítimo mundial, devendo-se esse fato não só às quantidades transportadas, mas também às grandes distâncias que separam as regiões produtivas das regiões consumidoras. A segurança marítima influencia as relações econômicas internacionais e a competitividade da indústria naval, o que destaca a importância das normativas ambientais. Essencialmente, evidenciam-se o transporte de petróleo e de produtos químicos, o derrame, descargas operacionais, lavagem de tanques dos navios e águas de lastro. Em termos de impacto imediato, as causas da poluição marinha mais relevantes resultam de acidentes que provocam o derramamento de petróleo. Anualmente, estima-se o derramamento de 1 milhão de toneladas de petróleo e derivados no mar. Em decorrência da alta incidência de acidentes e seus respectivos efeitos, uma série de

medidas vêm sendo implementadas pela Organização Marítima Internacional (IMO) visando elevar os padrões de segurança da navegação.

### **3.2 Principais causas dos acidentes de navegação**

Os acidentes de navegação que resultam em derramamento de petróleo e derivados são causados por inúmeros fatores. Evidenciam-se as seguintes causas: erro humano da tripulação ou decorrente de instruções da praticagem, incêndio, explosões e fenômenos da natureza (fortuna do mar), estado precário de navegabilidade e casco simples, idade dos navios, adoção de bandeiras de conveniência (BDC), preocupação com a competitividade em detrimento da segurança, descumprimento de normas de segurança, entre outras. Dados estatísticos revelam que 93% dos danos causados ao meio marinho decorrem da ação humana, sendo 2% concernentes a exploração e produção, 9% a descarga em terra, 33% a operações de navios, 12% a acidentes de navegação e 37% a esgotos urbanos e industriais. Portanto, somente 7% da poluição marinha detectada advém de causas naturais.

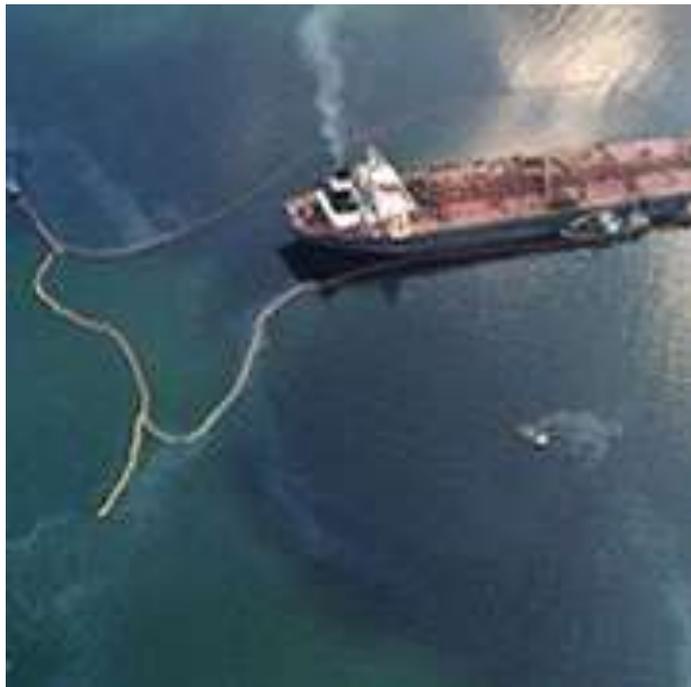
Em decorrência de repercussões e impactos ambientais dos acidentes e derrames, os navios com casco simples praticamente têm sido banidos da navegação de longo curso e vêm sendo substituídos por navios de casco duplo. A idade do navio é outro fator de risco considerável. As estatísticas revelam taxas crescentes de sinistralidade entre os navios mais velhos. Aproximadamente 60% dos petroleiros perdidos no mar têm mais de 20 anos, aos quais corresponde 13% do número de sinistros mundiais e 31% da tonelagem perdida. Outro fator que atinge o mercado petrolífero e de transportes é a generalização das bandeiras de conveniência, adotadas como estratégia de redução de custos e de competitividade. Os Registros Abertos de Bandeiras de Conveniência (BDC) se caracterizam por oferecer total facilidade para registro, incentivos de ordem fiscal, não-imposição de vínculo entre o Estado de Registro e o navio.

Tais Estados não exigem e nem fiscalizam, com o devido rigor, o cumprimento e a adoção das normas e regulamentos nacionais ou internacionais sobre as embarcações neles registradas. A não-exigência de vínculo do Estado da Bandeira com o navio e a inobservância de legislações e regulamentos de segurança da navegação decorre do fato de os Estados que concedem bandeira de conveniência não serem signatários ou não cumprirem os preceitos de convenções internacionais de extrema importância no cenário da navegação, como a Marpol, Solas 1974, CLC/69, o ISM Code (Código de Gerenciamento Ambiental), dentre outras.

### 3.3 Legislação internacional

A elevada frequência de acidentes e derrames tem incentivado a produção de legislação internacional visando à prevenção de acidentes, todavia a continuidade de ocorrências revela a reduzida eficácia da normativa. O relatório da Comissão Mundial Independente para os Oceanos, de 1998, apontou que o que falta para evitar acidentes não é mais legislação, e sim sua efetiva aplicação e cumprimento. Na sequência do acidente com o Exxon Valdez (ilustrado abaixo), em 1989, os EUA, insatisfeitos com a insuficiência das normas internacionais de prevenção da poluição por navios, adotaram em 1990 o Oil Pollution Act (OPA 90), pelo qual impuseram unilateralmente requisitos de casco duplo não só para os petroleiros novos, mas também para os petroleiros existentes, estabelecendo limites de idade (entre 23 e 30 anos, a partir de 2005) e prazos-limite (2010 e 2015) para a retirada de serviço dos petroleiros de casco simples.

**Figura 4:** Acidente Petroleiro Exxon Valdez



Fonte: <http://www.conexaomaritima.com.br/oceano/oceano.htm>.

Com o rompimento do casco do navio, cerca de 41 milhões de litros de óleo foram derramados no mar, e a área atingida chegou a 1.200 quilômetros quadrados. Apesar de terem ocorrido muitos outros derramamentos de óleo no mundo, o acidente com o Exxon Valdez aconteceu em águas remotas, onde se abrigava uma abundante e espetacular vida selvagem, causando danos terríveis à região.

Em decorrência dessa medida unilateral dos americanos, a IMO foi forçada a intervir, estabelecendo, em 1992, requisitos de casco duplo na Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (Marpol). A Marpol exige que todos os petroleiros de porte bruto igual ou superior a 600 toneladas construídos para entrega depois de julho de 1996 tenham casco duplo ou uma configuração equivalente. Por conseguinte, não há petroleiros de casco simples desse porte construídos depois dessa data. Em relação aos petroleiros de casco simples de porte bruto igual ou superior a 20.000 toneladas entregues antes de 6 de julho de 1996, a Marpol exige que satisfaçam os requisitos de casco duplo quando atingirem a idade de 25 ou 30 anos.

Na Europa, o naufrágio do petroleiro Erika marcou o ponto de partida para novos avanços na execução da política comunitária de segurança marítima – foram instituídos os Pacotes Erika I e II. Uma das medidas mais significativas constantes do pacote Erika I referia-se ao banimento progressivo dos petroleiros de casco simples, que seriam substituídos, o mais tardar até 2015, por navios de casco duplo. Os Pacotes Erika I e II contem ainda as seguintes medidas: acompanhamento de navios que transitam em águas europeias, sem prejuízo do direito de “passagem inocente”; estabelecimento de fundo de compensação suplementar para indenização das vítimas de derrames em águas europeias (Fundo COPE); criação da Agência Europeia de Segurança Marítima (Lisboa, 2003); implementação de medidas adicionais para transporte de petróleo; introdução de sistema de reconhecimento de certificados profissionais de marinheiros emitidos fora da UE; solicitação de relatórios aos pilotos; implementação de medidas de proteção às águas costeiras e alteração das normas Port State Control; estabelecimento de locais de refúgio; implementação de parcerias com a indústria petrolífera.

Alguns meses após a adoção dos Pacotes Erika I e II, ocorreu o desastre com o petroleiro Prestige. Na sequência do naufrágio desse petroleiro, em novembro de 2002, foram antecipadas e intensificadas as alterações decorrentes dos Pacotes Erika I e II, sendo denominado “Pacote Prestige”. Dentre as medidas adotadas introduziu-se um calendário tendente a banir os petroleiros de casco simples a partir de 2005, ao passo que os petroleiros menores e mais recentes não mais poderão navegar nas águas comunitárias a partir de 2010. Foi igualmente decretada a imediata proibição de utilizar os petroleiros de casco simples destinados a transportar óleos pesados com destino a portos comunitários ou deles provenientes.

Foram tomadas ainda outras medidas decorrentes do Pacote Prestige, essencialmente no que tange a requisitos de construção de navios petroleiros e à implementação da avaliação do estado da estrutura do navio.

### 3.4 Legislação brasileira

A legislação brasileira relativa à segurança marítima considera as mais importantes convenções internacionais. O Brasil é membro da IMO e signatário das principais convenções internacionais que norteiam as regras de segurança marítima e prevenção da poluição marinha.

O Projeto de Lei (PL) n. 4.296/01 propõe alteração da Lei n. 9.966/00 e pretende estabelecer a desativação gradual de navios de casco simples que transportam petróleo e derivados nas águas de jurisdição nacional. Objetiva impedir o trânsito em águas brasileiras de embarcações que já não possam operar em águas norte-americanas.

No Brasil, já ocorreram vários acidentes, todavia nenhum deles provocou impacto tão significativo no meio marinho como os acidentes anteriormente destacados. O acidente mais recente e de maior impacto ambiental foi o do NT Vicuna, de bandeira chilena, ocorrido em 16 de novembro de 2004, que explodiu três vezes e naufragou, provocando o derrame de aproximadamente 4 mil toneladas de três tipos de combustível, principalmente de metanol, na Baía de Paranaguá (PR).

A análise do sinistro revelou deficiências significativas de controle e prevenção de possíveis acidentes que possam vir a ocorrer no Brasil e serve de indicativo para possível revisão de normas e medidas consubstanciadas no princípio da precaução.

Nos termos da análise referida, as regras sobre a segurança marítima e derramamento de petróleo da UE e dos EUA são significativamente mais rígidas que as normas internacionais. Em decorrência dessa rigidez, a restrição ao tráfego de navios na UE e nos EUA tende a intensificar a utilização de navios antigos e sem casco duplo em outros países que possuam normas mais brandas, como é o caso do Brasil, cuja normativa segue os padrões internacionais seguindo essencialmente a Marpol.

Deve se considerar que leis que contêm penas severas são ineficazes se não existir mecanismos de fiscalização de seu cumprimento.

Assim, observamos a importância de análise das regras do Brasil e destacamos a necessidade de revisão do sistema normativo brasileiro e da metodologia de prevenção e controle. Percebemos assim, para que seja colocada como uma prática os regulamentos brasileiros, as seguintes questões como recomendações:

- a) possível adoção de regras mais severas que as normas internacionais, com observância aos sistemas da UE e EUA;

- b) adoção de “lista negra” de navios, a exemplo da lista elaborada pela Comissão da UE; • maior rigor nas exigências quanto à inspeção dos navios que transitam em águas brasileiras;
- c) implementação de sistema de controle e gestão de tráfego marítimo que permita o monitoramento permanente de navios, atenção e monitoramento dos navios de BDC;
- d) identificação de regiões de risco potencial;
- c) levantamento e avaliação de equipamentos e planos estratégicos de controle e prevenção de acidentes de grande proporção;
- d) aperfeiçoamento e atualização dos planos de emergência;
- e) intercâmbio de experiências e informações entre entidades do âmbito do combate à poluição: Marinha, Anvisa, Ibama, Antaq, ANP, Polícia Federal, Corpo de Bombeiros, Ministérios do Meio Ambiente e dos Transportes, dentre outros;
- f) revisão da legislação quanto à adoção de incentivo na frota mercante nacional com a implantação de um registro nacional de embarcações.

#### 4 AS SOCIEDADES CLASSIFICADORAS

As sociedades classificadoras são organizações de caráter privado que estabelecem e aplicam as normas técnicas relativas à concepção, construção e vistoria de navios e estruturas *offshore*. Estas normas são emitidas pela própria sociedade classificadora. O navio que é projetado e construído de acordo com regras de determinada sociedade classificadora pode solicitar um certificado de classificação daquela sociedade, que o emitirá após a conclusão dos inquéritos pertinentes à classificação.

Este certificado é um atestado de que o navio se encontra em conformidade com as regras da sociedade classificadora, não implicando e não devendo ser interpretado como garantia irrestrita de segurança.

Mais de 50 organizações mundiais têm suas atividades voltadas à classificação marítima. Dez dessas organizações formam a Associação Internacional das Sociedades de Classificação (IACS). Estima-se que estas dez sociedades classificadoras juntas são responsáveis pela certificação de cerca de 94% da frota marítima mundial. São elas : ABS – American Bureau of Shipping, BV – Bureau Veritas, CCS – China Classification Society, DNV – Det Norske Veritas, GL – Germanischer Lloyd, KR – Korean Register of Shipping, LR – Lloyd’s Register, NK– Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK), RINA – Registro Italiano Navale e RS – Russian Maritime Register of Shipping.

Estas e outras sociedades classificadoras se desenvolveram a partir do século 19 a fim de encontrar uma solução para assegurar que as embarcações fossem adequadamente confiáveis e seguras para os interesses comerciais e governamentais. Um resumo de algumas dessas classificadoras pode ser apreciado ao final deste item.

Cabe ressaltar que a Classificação é um dentre os vários elementos que compõem a segurança marítima. Podem ser citados como os outros elementos: o armador, o afretador, o estado da embarcação e dos portos etc.

Por ser uma entidade independente, a sociedade classificadora não possui interesses comerciais relacionados à concepção, financiamento, construção, operação, gestão, manutenção e reparo, seguro ou fretamento da embarcação.

As regras são desenvolvidas para contribuir com a resistência estrutural e integridade do casco da embarcação e seus apêndices, bem como a funcionalidade de equipamentos e sistemas (elétrico, propulsivo etc), a fim de manter os serviços essenciais a bordo.

Inicialmente, elas focalizaram a maior parte em interesses nacionais e militares, e a maioria eram inteiramente ou semicontroladas pelo governo. Mais recentemente, o mercado

de classificadoras tornou-se internacional e assim as sociedades classificadoras tornaram-se mais independentes de laços nacionais. Entretanto, a maioria das sociedades classificadoras mantém fortes ligações com as administrações marítimas de seus países de origem.

De acordo com suas origens, as regras das sociedades classificadoras se desenvolveram em um nível de isolamento uma das outras por muitos anos, significando que, por exemplo, as exigências do ABS, da DNV e do LR para diferentes áreas de projeto foram apresentadas em muitas maneiras diferentes e poderiam conduzir a resultados significativamente diferentes.

Enquanto as tecnologias se desenvolveram (novos tipos de navios, velocidades de operação mais rápidas etc), regras governamentais foram introduzidas estendendo o escopo das inspeções. Os avanços em metodologias analíticas também foram incorporados enquanto foram desenvolvidos. Similarmente, regras de resistência local e estabilidade foram inicialmente baseadas em práticas passadas bem sucedidas e modificadas com os avanços atingidos. Entretanto, algumas das características históricas foram retidas, fazendo das regras uma mistura de exigências analíticas e prescritivas.

As diferenças das regras, e as publicações organizacionais que influenciaram suas aplicações, conduziram a diferentes resultados em termos da segurança e confiabilidade. Conseqüentemente, um grupo conduzido pelas principais sociedades classificadoras deu início à Associação Internacional das Sociedades Classificadoras (IACS) em 1968.

As exigências estruturais do projeto da embarcação naval evoluíram ao longo de caminhos paralelos às regras comerciais, mas com diferenças. Ênfases consideráveis foram dadas pelas sociedades classificadoras para fazerem suas regras simples de compreender e aplicar-se. Os casos padrões e as aproximações foram usados sempre que possíveis. Os projetistas navais foram acostumados mais aos métodos de aplicação específicos para casos de carregamento em particular.

## 5 O CONCEITO DE INSPEÇÃO BASEADO EM RISCO

A metodologia IBR – Inspeção Baseada no Risco, também conhecida como RBI do inglês "Risk Based Inspection", é uma ferramenta sistemática que fornece informação essencial para a tomada de decisões relativas a ações de inspeção, visando a racionalização dos recursos em função do risco existente. Esta metodologia representa atualmente a nova geração na definição de estratégias de inspeção.

A abordagem baseada no risco permite focar maior atenção nos equipamentos de elevado risco, permitindo deste modo desenvolver ações de mitigação (inspeção, entre outras) que permitam reduzir o risco de modo eficaz. A IBR deve ser usada como uma ferramenta de melhoramento contínuo, permitindo melhorar as ações de inspeção, contribuindo para uma redução sistemática do risco e uma melhor otimização dos recursos existentes.

Inspeção Baseada em Risco trata-se então de um processo de identificação, avaliação e mapeamento de riscos capazes de comprometer a integridade do projeto em questão. A IBR abrange riscos que podem ser controlados mediante inspeções e análises adequadas. Seu conceito é aplicável a diversos ramos da indústria. As empresas de petróleo iniciaram sua implementação pelas refinarias.

Os objetivos da IBR são: classificar os itens sujeitos a inspeção em função do risco, formular planos de inspeção em função dos níveis dos riscos avaliados e gerenciar o risco de falha dos equipamentos pelo uso otimizado dos recursos de inspeção.

Durante o processo, os engenheiros elaboram as estratégias de inspeção (o que, quando e como inspecionar) mais adequadas para os mecanismos de degradação previstos ou observados. As questões básicas da Metodologia da IBR podem ser sumarizadas pelas perguntas:

O que inspecionar?

- Identificar os detalhes construtivos críticos

Onde inspecionar?

- Identificar as áreas de alto risco
- Análise qualitativa através de grupos de trabalho

Quando inspecionar?

- Mecanismos de degradação
- Avarias dependentes do tempo
- Vida fadiga pregressa e histórico das taxas de corrosão
- Dados históricos

Onde inspecionar?

- Probabilidade - possibilidade de que uma falha ocorra

Ex: trinca na antepara transversal de um tanque de carga

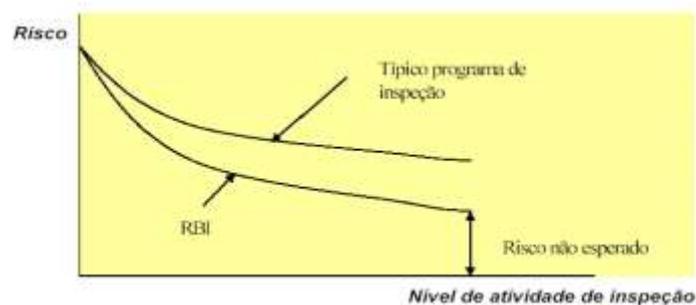
- Consequência - resultado se a falha realmente ocorrer

Ex: vazamento de óleo para um tanque de lastro – possível explosão

Sua metodologia consiste na estimativa da frequência de falha e na determinação da consequência da mesma, calculando assim o risco através do produto da “frequência de falha” pela a “consequência da mesma falha”. A frequência, quando não conhecida com exatidão, é estimada através de frequências de falhas genéricas e aplicação de fatores modificadores; já a consequência considera a segurança, perdas econômicas e o impacto ambiental. A acurácia das previsões dos riscos pode ser melhorada se existir um banco de dados específicos para as frequências e consequências de falhas.

A IBR se propõe a fornecer uma ótima combinação do método ou técnica de inspeção a sua frequência. Através desta combinação são concentrados esforços para cobrir os itens de risco elevado, aplicar esforço apropriado nos equipamentos de baixo risco ou não reparar até que eles sofram um dano. O aumento do custo de inspeção em equipamentos de alto risco pode ser compensado pela redução da inspeção em equipamentos de baixo risco. O risco pode ser aplicado de forma qualitativa, quantitativa ou de forma combinada. A aplicação qualitativa requer menor quantidade de informações e a quantitativa fornece o risco por cada equipamento de uma unidade. O risco não pode ser reduzido a zero, pois fatores inesperados podem ocorrer, tais como erro humano, desastres naturais, eventos externos (colisões), sabotagem, limitação dos métodos de inspeção, erro de projeto e desconhecimento de mecanismos de deterioração podem atuar. A Figura 5 mostra a diferença entre os riscos existentes referentes a programas de inspeção típicos e de inspeção baseada em risco.

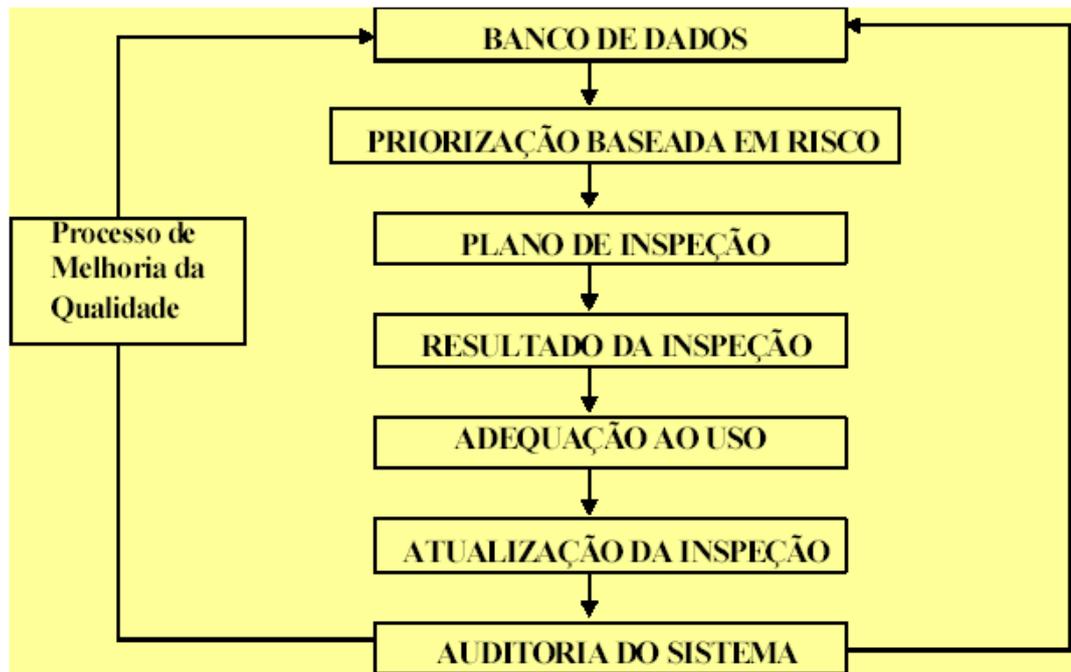
**Figura 5:** Desvio de inspeção típica e inspeção baseada em risco



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

Pode-se notar que em patamar mínimo, o risco continua a existir e que não pode ser reduzido mesmo que a otimização do programa de inspeção seja realizada. A Figura 6 mostra um sistema de inspeção baseado em risco.

**Figura 6:** Sistema de inspeção baseada em risco



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

O escopo do programa de inspeção baseado no risco contém procedimentos de suporte e metodologia para o desenvolvimento de uma sistemática consistente visando à criação e desenvolvimento de um programa de monitoramento com medidas de prevenção e de mitigação, isto é, eliminação ou redução do potencial de falha para os modos de falha cujo risco é inaceitável.

Um gerenciamento de integridade a partir de manutenção preditiva e a custos otimizados pode ser realizado através de:

- a) Identificação das necessidades de monitoramento / inspeção, consistente com a estratégia de risco;
- b) Implementação de métodos de monitoramento / inspeção que possam detectar e prever o potencial de falhas, o suficientemente cedo para possibilitar a tomada de ações corretivas de modo seguro e a custos otimizados;

- c) Detecção de danos oriundos de incidentes não previstos, em geral cargas acidentais ou operação fora das condições especificadas, através de identificação de dano real ou inferido;
- d) Danos subsequentes que podem ser evitados se as ações corretivas forem tomadas em tempo hábil;
- e) Demonstração de confiabilidade.

No mercado altamente competitivo de hoje, tornou-se uma prioridade para a indústria pesada, sobretudo para o setor de Óleo & Gás, evitar paralisações imprevistas. Ademais, regulamentações de todo o mundo incentivam um melhor gerenciamento de riscos, tendo em vista a proteção do meio ambiente e dos cidadãos. As empresas devem certificar-se de que seus equipamentos são seguros e confiáveis e não representam riscos.

### **5.1 Técnicas de análise de riscos**

As técnicas de análise de risco possibilitam a identificação dos perigos, aspectos e desvios de processo, que possam afetar a saúde e segurança dos trabalhadores, o meio ambiente e a qualidade dos produtos.

As técnicas dedutivas partem do perigo, aspecto ambiental ou desvio de processo para as causas e consequências com objetivo de propor ações mitigadoras. As técnicas indutivas são o contrário, investigam os possíveis efeitos de um evento desejado partindo de um desvio de processo ou evento indesejado para avaliar as causas e consequências para propor ações mitigadoras. As técnicas dedutivas e indutivas podem ser qualitativas e quantitativas.

As técnicas qualitativas são assim denominadas porque grande parte de suas informações são baseadas na experiência e conhecimento dos envolvidos do processo analisado, apesar de algumas vezes serem utilizados bancos de dados para se definir a frequência ou probabilidade dos eventos indesejados, a severidade de tais eventos não é calculada, podendo o grupo de análise adotar uma postura conservadora ou pessimista em relação a essa classificação.

Assim as técnicas de análise de risco podem ser definidas com mostra a tabela abaixo:

Tabela 1: Técnica de análise de risco

Técnicas de Análise de Risco			
Qualitativa		Quantitativa	
Indutiva	Dedutiva	Indutiva	Detutiva
FMEA	APR	QAQR	FTA
FMECA			
HAZOP			
HAZID			
WHAT IF			

Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

As técnicas quantitativas são avaliações de risco que buscam quantificar a área analisada e a consequência em termos de danos físicos as pessoas dentro e fora da organização, danos materiais e ao meio ambiente. Para isso, existem modelos matemáticos e simuladores que utilizam dados relativos a equipamentos, condições ambientais e variáveis que possibilitem representar o mais próximo da realidade os danos causados por eventos indesejados.

## 6 PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS DURANTE INSPEÇÕES EM TANQUES DE EMBARCAÇÕES

Com o intuito de indicar as diversas etapas para implementar um método de inspeção para embarcações baseado no enfoque de componentes estruturais considerados de maior ou menor riscos, dois assuntos são abordados como sendo primordiais na análise de priorizar o quê, onde e quando inspecionar.

Pintura e fadiga são fatores que podem influenciar negativamente a integridade estrutural de uma embarcação em toda a sua vida útil. Isso se deve ao fato que o navio petroleiro, por exemplo, transporta produtos corrosivos, por isso a pintura e manutenção dos tanques de carga devem ser rigorosas.

### 6.1 Pintura

Durante a sua vida útil, a embarcação fica exposta à atmosfera marinha e, em diversas áreas, submetida a diferentes meios corrosivos, o que implica na especificação de sistemas comprovadamente eficazes de proteção contra a corrosão. A figura 7 mostra o interior do fundo de um tanque de carga em um petroleiro casco duplo mostrando corrosão por pitting.

**Figura 7:** Pitting



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

A pintura é a mais difundida técnica de proteção anticorrosiva, razão pela qual deve ser encarada como uma tecnologia complexa, dinâmica, capaz de acompanhar o desenvolvimento tecnológico em outras áreas e de se adaptar às tendências de um mundo de economia globalizada, com forte apelo pela preservação do meio do meio ambiente.

Uma nova visão de esquema de pintura, com ênfase na qualidade da especificação, critérios de inspeção, tintas menos dependentes de condições climáticas, processos enquadrados em conceitos de proteção ambiental e saúde ocupacional, é apresentada como fator de redução de custos. Com base no estágio atual de desenvolvimento da tecnologia dos revestimentos anticorrosivos, pode-se considerar que um esquema de pintura moderno é aquele que consegue reunir excelentes propriedades de desempenho, custo e preservação ambiental.

Evidentemente, quando se especifica um esquema de pintura, o objetivo primordial é a obtenção de excelente desempenho frente ao meio corrosivo. Muitas vezes, um raciocínio imediatista leva ao descarte de esquemas de alta qualidade devido ao elevado custo inicial, ou seja, por não se tratar de um fator fácil e imediatamente mensurável, normalmente a performance de um esquema de pintura não é usada como um fator de redução de custo. É muito comum optar-se por um esquema de custo inicial menor que, entretanto, ao longo da vida útil da unidade gera elevados custos de manutenção. Também pelo lado ambiental, o desempenho do esquema de pintura exerce influência, visto que, quanto menor o número de intervenções para manutenção de pintura, menor a agressão ao meio ambiente. Além da visão de longo prazo, fatores de ordem operacional podem ser decisivos para redução de custos.

Em relação à preservação ambiental, as tintas e a preparação de superfície se constituem nas principais formas de agressão ao meio ambiente. A partir de 1991, várias alternativas têm sido testadas para substituição do jateamento abrasivo com areia seca. Atualmente, os jateamentos com areia molhada, conhecido como jato úmido, com escória de cobre e com granalha de aço são os mais usados. Mais recentemente, o hidrojateamento a ultra-alta pressão passou a ser utilizado no Brasil. Este processo, considerado totalmente ecológico, consiste no jateamento com água sob alta pressão (20.000 a 45.000 psi). Mais direcionado para as pinturas de manutenção porque somente regenera o perfil da superfície da pintura original e remove os produtos de corrosão originários do processo corrosivo, não oferece riscos de explosões, pois não produz faíscas. O hidrojateamento pode ser realizado paralelamente a outras etapas da obra tais como montagem, serviços de caldeiraria, reparos elétricos e pintura, propiciando redução no prazo de execução e de custos. Assim como o jateamento abrasivo úmido, ao final da operação, tende a formar na superfície uma oxidação ligeira (*flash-rusting*), que pode estar acompanhada de umidade residual. Ao contrário de outros tratamentos com abrasivos secos, além da limpeza da superfície, outra propriedade muito importante desse processo é a remoção de sais solúveis que podem ficar aderidos ao substrato.

Alguns estudos indicam que os resíduos de sais, principalmente cloretos e sulfatos, sobre a superfície após o hidrojateamento são de zero a 2,0 mg.cm<sup>2</sup>, enquanto no jateamento com abrasivos secos variam entre 5,0 e 20,0 mg.cm<sup>2</sup>.

Embora as especificações de pintura mais modernas incluam, também, teores máximos de sais solúveis permitidos na superfície, e o assunto começa a ganhar importância e atenção por parte os técnicos que atuam na área, no Brasil ainda prevalece a cultura de se especificar tratamentos de superfície baseados somente em padrões visuais. Outro ponto favorável ao hidrojateamento é o tratamento dos resíduos sólidos gerados na preparação de superfícies. Enquanto o hidrojateamento produz cerca de 1,0 kg/m<sup>2</sup>, tratamentos com abrasivos secos podem gerar 60 kg/m<sup>2</sup>, que devem ser tratados para separação dos contaminantes tóxicos.

Nos últimos anos, devido ao apelo maior pela preservação ambiental, em alguns países foram criadas leis que regulamentam o teor de compostos orgânicos voláteis (VOC), que resultaram no surgimento das “tintas ecológicas”. Limites de VOC foram especificados, inicialmente em 340 g/l de tinta e atualmente reduzidos para valores entre 240 e 270 g/l [2,3]. Não somente os solventes, mas, também, outras substâncias consideradas muito tóxicas, tiveram sua utilização proibida ou restrita, como, por exemplo, zarcão, cromato de zinco, isocianatos, alcatrão-dehulha e outros compostos betuminosos. Tornaram-se comuns no mercado as tintas “*Low VOC*” e “*No VOC*” e, além desses produtos, também ganharam destaque e aumento de demanda as tintas de base aquosa e tintas em pó [4]. A tecnologia de tintas também avançou no sentido de criar opções para bom desempenho frente à corrosão em situações de preparação de superfície menos sofisticadas e condições ambientais desfavoráveis, como por exemplo, umidade relativa acima de 85% e superfícies molhadas. Estas tintas, denominadas “*surfasse tolerant*”, em virtude de permitirem condições de aplicação menos rigorosas, se tornaram excelente opção na pintura de manutenção, além de poderem proporcionar reduções de custos pela possibilidade da diminuição do número de demãos, dos gastos com preparação de superfície e do prazo de execução dos serviços.

Muito embora a mídia explore a questão ambiental, o Brasil, ao contrário de outros centros, é um país praticamente sem leis que a regulamentem na área das tintas. Este fato, de certa forma, impede que este tema impulse, isoladamente, grandes mudanças nos conceitos tradicionais de pintura, daí a necessidade de atrelá-lo a fatores de custo e desempenho.

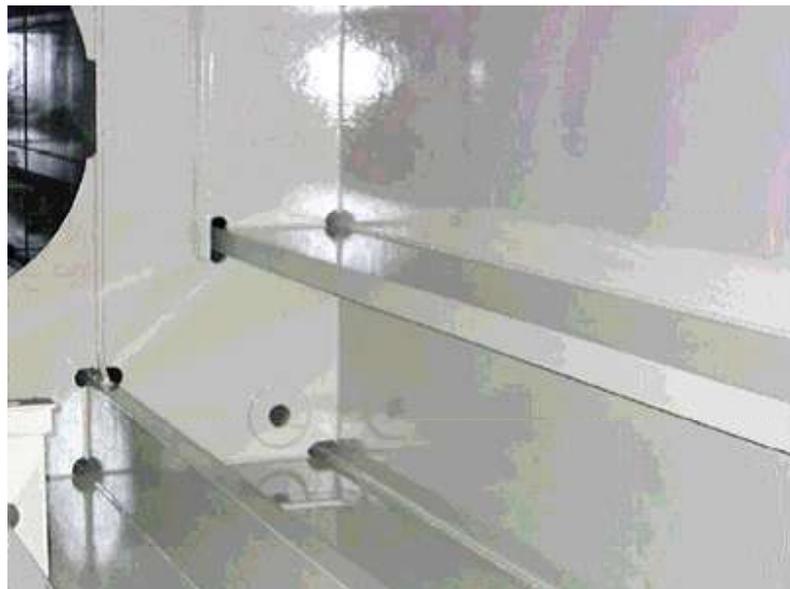
A seguir alguns exemplos da condição de pintura de tanques:

**Figura 8:** Condição do tanque antes da aplicação de revestimento



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

**Figura 9:** Estrutura interna de um fundo duplo após o revestimento.



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

## 6.2 Fadiga

A experiência adquirida com navios petroleiros construídos nos anos setenta e oitenta demonstrou que especialmente as longitudinais do costado são mais suscetíveis à fadiga. Baseadas nesta experiência, as sociedades classificadoras introduziram requisitos mais rigorosos relativos ao cálculo de fadiga no projeto de navios petroleiros, por exemplo, pois o navio petroleiro convencional gasta a maior parte da sua vida útil transportando óleo de um lugar para outro, em uma das duas condições típicas de calado: carregado ou em lastro. A

fadiga é responsável pela ocorrência de uma enorme quantidade de trincas nas soldas em detalhes estruturais típicos de navios mercantes. Durante muitos anos a falha relacionada à fadiga tornou-se um dos itens de maior preocupação em navios existentes e na preparação de novos projetos. Como relatado em (HORN et al., 1999 e OCIMF, 1995), recentemente a fratura por fadiga nas conexões das longitudinais do costado na região de incidência das ondas do mar foi identificada como uma das áreas críticas. Navios com 3 a 4 anos de idade e construídos com aço de alta resistência (tensão de escoamento superior a 315 N/mm<sup>2</sup>) tiveram muitas trincas nesta área sem que existisse alguma corrosão ou desgaste significativo.

A maior parte das ocorrências de trincas surgiu nas conexões dos elementos secundários com os elementos primários, ou seja, na passagem das longitudinais pelas cavernas gigantes e anteparas transversais. Os detalhes de projeto aumentando a resistência por fadiga nestes detalhes típicos foram bem documentados e o aprimoramento do projeto já foi incorporado por vários estaleiros como detalhe padrão. Foram então incluídos reforçadores com um adoçamento / raio de curvatura no pé da borboleta.

### 6.2.1 Conceito de fadiga

Fadiga é um modo de falha estrutural resultante da ocorrência de flutuações cíclicas das tensões atuantes. Existem três fases do processo de falha por fadiga: iniciação de trincas, propagação de trincas e falha final. Estas fases não são claramente separáveis.

Quando um elemento estrutural é submetido a um carregamento de fadiga, uma trinca pode desenvolver-se no ponto de máxima variação de tensão. A preexistência de um ponto de concentração de tensão (como um orifício, chanfro ou descontinuidade), na região de máxima variação de tensão iniciará a rachadura por fadiga rapidamente. Uma vez que a trinca por fadiga inicia-se em um elemento, ciclos adicionais de carregamento são necessários para a propagação daquela rachadura a um tamanho considerado crítico.

A análise simplificada de fadiga para os detalhes estruturais em navios é baseada nas seguintes premissas:

- a) Regra do dano linear acumulado (Palmgren-Miner).
- b) A distribuição de longo prazo da variação de tensão segue a distribuição de probabilidade de *Weibull* com o parâmetro de forma pré-definido.
- c) Os efeitos das tensões médias são desprezados.
- d) Curvas básicas S-N.
- e) Dados ambientais baseados no Atlântico Norte.

- f) A tensão nominal é base para a avaliação de fadiga.
- g) Qualidade do trabalho da mão-de-obra considerado aceitável pelo inspetor da classificadora.

Os níveis de variação de tensão aplicados para a iniciação e propagação da trinca, causando a falha por fadiga, são muitas vezes significativamente inferiores ao valor da tensão de escoamento do material. Assim, a verificação de um projeto usando somente o carregamento estático poderá ser inadequado quando existirem cargas dinâmicas atuando.

Na maioria dos casos, os defeitos podem ser previstos no projeto, onde deve-se verificar se as cargas cíclicas estão abaixo do estado limite de resistência do material à fadiga. Entretanto, para estruturas offshore, que são submetidas a carregamentos ambientais, as tensões produzidas são variáveis, tornando esse método impraticável. Dessa forma é necessário o emprego de um método aproximado, como a utilização das curvas S-N no cálculo do dano por fadiga.

### **6.3 Determinação da tensão de fadiga**

A determinação das tensões para se avaliar a fadiga pode ser obtida através de vários métodos. A tensão de fadiga pode ser obtida por um modelo físico, por uma análise de elementos finitos ou até mesmo por uma formulação empírica. Cada método varia a sua precisão na predição dos valores de tensão, dependendo também da complexidade da estrutura considerada e do tipo de carregamento aplicado. Até mesmo as análises com elementos finitos podem gerar resultados significativamente diferentes se resoluções diferentes da malha ou diferentes tipos de elementos forem empregados. Quanto menor a resolução da malha de elementos finitos, maiores serão as tensões obtidas, particularmente nas conexões e descontinuidades estruturais. As diferenças nas tensões vão impactar os resultados de vida à fadiga seriamente, já que a vida útil é determinada em função da tensão elevada a um expoente acima de 3. É, portanto, muito importante que os engenheiros utilizem as tensões referenciais apropriadas para a avaliação da resistência à fadiga. Deve ser notado que as chamadas tensões de referência, não significam necessariamente as tensões determinadas por um método mais acurado, como por exemplo um modelo de elementos finitos. O mais importante é que a tensão pertinente esteja de acordo com a curva S-N selecionada.

As tensões calculadas podem ser categorizadas em três tipos: tensão nominal, “*hotspot stress*” e “*notch stress*”, descritas a seguir:

- a) Tensão nominal: A tensão nominal corresponde à tensão determinada no ponto da estrutura considerado, sem levar em conta os fatores de concentração de tensão locais devidos à junta soldada. Está também associada à tensão nominal utilizada no teste da amostra usada nas definições das curvas S-N. Idealmente, a tensão nominal é calculada a partir da força axial dividida pela área seccional, ou pela máxima tensão de flexão ou ainda pela superposição das duas tensões. Entretanto, muitas vezes esta definição não pode ser utilizada diretamente devido à complexidade da geometria do detalhe estrutural e da carga aplicada.
- b) Tensão “*hotspot*”: o termo “*hotspot*” se refere a um ponto crítico na estrutura, onde a trinca por fadiga pode vir a ocorrer devido a uma descontinuidade ou a um chanfro. O valor da tensão “*hotspot*” é definido como o valor da tensão incluindo todos os efeitos de concentração de tensão devidos aos detalhes estruturais, incluindo os detalhes da geometria local e global, porém não considera os efeitos da concentração de tensão devidos à geometria da solda. Também não inclui picos de tensão não-lineares causados por um chanfro. A tensão “*hotspot*” é usualmente determinada pela análise de elementos finitos utilizando uma malha de resolução mais fina.
- c) Tensão “*notch*”: A tensão “*notch*” é o valor do pico máximo da tensão no pé da solda, sendo obtida assumindo-se um comportamento linear elástico do material. Leva-se em consideração o fator de concentração e tensão da solda.

## 7 INTEGRIDADE ESTRUTURAL E SEUS PRINCIPAIS FATORES

Esse tópico faz uma exposição de fatores que podem influenciar negativamente a integridade estrutural de um navio em toda a sua vida útil.

Em sequência, será avaliada uma série de possíveis medidas de controle, com o intuito de minimizar ou mitigar os riscos identificados.

As principais áreas de preocupação foram:

- a) Corrosão estrutural acelerada nos tanques de carga e lastro;
- b) Revestimento dos tanques, incluindo queda prematura;
- c) Fadiga;
- d) Vistorias de casco e práticas de manutenção;
- e) Variações em fabricação e nas normas de construção durante novas construções e reparos;
- f) Variações no conteúdo das vistorias de Classe, durante novas construções e reparos de navios em serviço.

Além disso, considerou-se a possibilidade de perda de integridade nas fronteiras dos tanques de óleo devido ao escape de hidrocarboneto para o casco duplo e espaços do fundo duplo. Oito recomendações foram concebidas para minimizar ou mitigar eventuais problemas relacionados a essas áreas de preocupação. Para a implementação dessas recomendações e o seu uso eficaz pela Indústria, é necessário:

- a) Alterações nos regulamentos internacionais através da IMO;
- b) Alterações nas exigências e procedimentos das sociedades classificadoras;
- c) Melhoria nas orientações e auto regulação pela Indústria.

Essas medidas tem o intuito de assegurar condições seguras para minimizar os riscos para a vida e para o ambiente associados ao transporte de petróleo.

### **7.1 A falta de requisito mandatório relativo aos revestimentos para tanques lastro e carga**

Tanques de lastro: é uma exigência do SOLAS 74 que os tanques de lastro tenham sistemas de prevenção de corrosão e atualmente isto é melhor alcançado por meio de revestimentos protetores.

Regulamento II-I, 3-2.1, SOLAS 74:

1- “Esse regulamento é aplicável aos navios petroleiros e graneleiros construídos em ou após 1º de Julho de 1998.”

2 – “Todos os tanques de lastro devem ter um sistema eficiente de prevenção de corrosão, tais como revestimentos protetores rígidos ou equivalentes. Os revestimentos devem ser preferencialmente de cor clara.”

A orientação que está associada a esta exigência é dada pela Resolução A.798

(19) da IMO ”*Guidelines for the selection, application and maintenance of corrosion prevention systems of dedicated seawater ballast tanks.*“

Um problema que muitas vezes é notado nos tanques de lastro de embarcações em serviço é a falha prematura do revestimento protetor dos tanques. E, uma vez que a falha tenha ocorrido, uma rápida corrosão do aço desprotegido vai seguir logo depois. Outro problema é que, após a queda do revestimento, é extremamente difícil reparar ou reintegrar o revestimento ao padrão que foi atingido durante a construção.

É de suma importância que o revestimento seja aplicado a embarcação na fase de construção. Além disso, considera-se que a melhor maneira de conseguir isso, é a obrigatoriedade no cumprimento as normas, incluindo uma vida útil mínima.

As seguintes fotos mostram os tanques de lastro de dois navios da mesma idade, 13 anos. Durante a construção, ambos os navios foram revestidos com sistema epóxi, a aplicação do revestimento do tanque de lastro do navio na primeira foto foi feita corretamente, enquanto que para o navio mostrado na segunda foto foi feita de uma maneira pior. As fotos 10 e 11 mostram a importância dos procedimentos de aplicação (preparação da superfície e aplicação do sistema de pintura).

**Figura 10:** Aplicação correta do revestimento, condição do tanque de lastro após 13 anos



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

**Figura 11:** Aplicação pobre de revestimento, condição do tanque de lastro após 13 anos



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

Tanques de carga:

Atualmente, não existem exigências no SOLAS 74, para que tanques de carga que sejam providos com sistemas de prevenção de corrosão. No entanto, corrosão acelerada foi encontrada em tanques de carga em um número de navios petroleiros especialmente aqueles que transportam petróleo bruto ou combustíveis residuais.

Corrosão por pitting no chapeamento do fundo de tanques de carga pode ocasionar o vazamento do carregamento para o fundo duplo, ocorrendo assim um maior risco de explosão e de poluição durante operações de lastro. Enquanto que a corrosão sob o convés dentro do tanque de carga pode levar a uma redução na resistência que dá origem à possibilidade que mais uma falha estrutural grave ocorra.

Esta questão está sob consideração em outras organizações, contudo ainda não há progresso realizado sobre esta questão. Este assunto deve ser abordado imediatamente e também é entendido que o melhor meio de prevenir a corrosão no interior desses espaços seriam requisitos mandatórios para revestimentos sob o convés e no chapeamento do fundo. Além de proteger o aço estrutural nessas áreas, esta medida também permitiria inspeções e vistorias mais fáceis e eficazes em serviço.

Ao tornar obrigatório sistemas de proteção de revestimento para estas áreas vulneráveis dentro dos tanques de carga, um adequado padrão, incluindo uma vida útil mínima, teria de ser criado e obrigatório para tais sistemas.

Não obstante o acima exposto, há um número de petroleiros que só operam em rotas pré-definidas e transportam carga relativamente benignas. As taxas de corrosão para estes navios são conhecidas por serem muito menores do que para aqueles que transportam cargas mais agressivas. Para tais casos, um relaxamento nas exigências relativas ao revestimento poderia ser considerado, desde que claramente registrado pela Classificadora e Certificado Estatutário.

Trincas por fadiga, que podem ocorrer em todos os tipos de embarcações, estão associadas com tensão cíclica e podem estar ligadas a otimização das estruturas: pobres detalhes de projeto, corrosão, concentração de tensões e uso incorreto de aço de alta resistência, por exemplo. Trincas por fadiga são geralmente encontradas em navios antigos, embora tenham sido encontradas em embarcações com cinco anos de entrega. Um exemplo de ocorrência de trinca pode ser observado na foto 12.

**Figura 12:** Trinca por fadiga no chapeamento da caverna transversal de um tanque de lastro em um navio petroleiro de casco simples



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

Trincas por fadiga podem se propagar ao longo do tempo e se não forem tomadas medidas (reparação, renovação, alteração desenho etc), uma grande falha estrutural pode ocorrer.

A prática atual é que trincas por fadiga sejam reparadas quando forem encontradas durante vistorias. Contudo diferentes trincas podem demandar diferentes ações. Por exemplo:

- a) Um petroleiro 20 anos, onde se encontram trincas por fadiga nos reforços longitudinais do costado, deve passar por uma detalhada vistoria estrutural com exame *close-up* em todas

as áreas suspeitas seguida por reparos nas áreas onde as falhas foram encontradas (reparos locais).

- b) Os mesmos problemas ocorrendo em petroleiros de 10 anos, devem passar por uma detalhada vistoria estrutural com exame *close-up* em todas as áreas suspeitas seguida por reparos e reforços nas áreas onde houveram as falhas. Juntamente com medidas proativas (reforços ou aprimoramentos de projeto, por exemplo) em áreas similares da estrutura do casco e reparações com modificações locais, se necessário, nas áreas degradadas e em áreas suspeitas semelhantes.
- c) Os mesmos problemas ocorrendo em petroleiros de 5 anos, devem passar por uma detalhada vistoria estrutural com exame *close-up* em todas as áreas suspeitas seguida por análise estrutural para identificar as razões de falha. Juntamente com medidas proativas (por exemplo, reforços ou eventualmente modificações de projeto) em todas as áreas que tenham sido identificadas por estarem em risco (análise geral após uma inspeção detalhada seguida por melhorias substanciais e modificações).

É visto que uma abordagem unificada e eficaz para combater a trinca por fadiga em navios petroleiros é desejável, levando em consideração o potencial que pequenas trincas têm em crescer e se tornarem falhas estruturais mais graves.

## **8 PROCEDIMENTOS PARA O ACOMPANHAMENTO DE FABRICAÇÃO DO NAVIO DURANTE A FASE DE CONSTRUÇÃO E INSPEÇÃO**

A Associação Internacional das Sociedades Classificadoras (International Association of Classification Societies – IACS) é a organização das dez maiores classificadoras do mundo, fundada em 11 de setembro de 1968. O papel da IACS é zelar pela segurança das embarcações, bem como pela preservação das águas do mar, prevenindo-as da poluição. Hoje em dia, mais de 90% da carga transportada pelo mar, utiliza-se de navios das classificadoras afiliadas da IACS, que estabelece normas e critérios a serem seguidos desde o seu projeto, passando pela construção, até o final de sua vida útil. A IACS tem permitido o desenvolvimento de novas orientações para a Organização Marítima Internacional (International Maritime Organization – IMO), desenvolvendo e aplicando as regras pertinentes. Para o caso em questão, as falhas estruturais no interior dos porões de graneiros de casco singelo, foi criada a UR S31. URs são Unified Requirements (Requisitos Unificados), estabelecidos e seguidos pelas sociedades classificadoras membros da IACS. A parte S dos Unified Requirements vem do inglês Structural, ou seja, são os requisitos unificados inerentes à estrutura das embarcações, e que deverão ser seguidos por todas as embarcações englobadas por todas as sociedades classificadoras membros da IACS, o que corresponde a mais de noventa por cento da frota mundial. Os dez membros da Associação Internacional das Sociedades Classificadoras (IACS) são: ABS (American Bureau of Shipping) , Bureau Veritas, China Classification Society, Det Norske Veritas, Germanischer Lloyd, Korean Register of Shipping, Lloyd’s Register, Nippon Kaiji Kyokai, Registro Italiano Navale e Russian Maritime Register of Shipping.

Depois de instaurada a UR S31, notou-se uma sensível diminuição das falhas no interior dos porões de carga a embarcação, em especial na região do costado. A UR S31 tem basicamente dois grandes enfoques: um com respeito a substituição dos elementos atingidos por oxidação, e um com respeito a topologia estrutural dos costados. A respeito da substituição dos elementos atingidos por oxidação, a UR S31 estabelece critérios mais rigorosos para a renovação dos elementos, prevenindo assim que ocorram falhas originadas por diminuição de espessuras. Devido ao uso de uma embarcação, seus elementos estruturais vão ficando menos espessos. Essa diminuição de espessura ocorre por motivos de oxidação e pela natural esfoliação do aço de acordo com o seu uso. Geralmente, se adota o limite de 25% de oxidação, ou seja: Se a espessura medida em um determinado elemento for inferior a 75%

da espessura de projeto, este elemento deverá ser trocado. A esta medida dá-se o nome de “Espessura de Renovação”

### 8.1 Estudos de casos e recomendações

Com base nas discussões relatadas nos itens anteriores, sobre os pontos de preocupação, as recomendações propostas são as seguintes:

**Recomendação 1:** Estabelecer um padrão de execução do sistema de revestimento para tanques de lastro em embarcações novas.

Problema exposto: Corrosão em tanques de lastro causada por queda prematura do revestimento.

Medida proposta: Melhoria do padrão de revestimento.

O padrão de execução que é desenvolvido para os tanques de lastro dos navios graneleiros (com uma vida estimada de 15 anos) seria um padrão adequado para os tanques de lastro de petroleiros casco duplo.

Aplicação: O regulamento II-I/3-2 do SOLAS'74 deve ser alterado para introduzir uma norma padrão obrigatória (e vida útil do revestimento) para os revestimentos que são exigidos em tanques de lastro dos petroleiros casco duplo. Além disso, as recomendações devem ser cuidadosamente seguidas a fim de se estabelecer técnicas satisfatórias.

**Recomendação 2:** Estabelecer normas obrigatórias para revestimento das estruturas do topo e do chapeamento do fundo dos tanques em navios petroleiros.

Problema exposto: Corrosão acelerada em estruturas do topo e do chapeamento do fundo dos tanques de carga sem revestimento.

Medida proposta: Fornecer revestimentos protetores nesta área crítica.

Aplicação: O regulamento II-I/3 do SOLAS'74 deve ser alterado para uma autorização adicional de proteção de corrosão (revestimentos) para a parte interna do topo do convés e chapeamento do fundo dos tanques de carga em novas construções. Para essa autorização, um documento propondo autorização para revestimentos para estas duas áreas deverá ser enviado para um Estado-membro da IMO.

Para embarcações novas, onde cargas benignas sejam transportadas ou quando tais embarcações sejam destinadas a rotas específicas onde o risco de corrosão estrutural acelerada não seja evidente, uma proposta de isenção das normas obrigatórias do revestimento, que são detalhadas acima, poderiam ser incorporados na proposta de alteração da Convenção

SOLAS'74, no entanto, isto deveria ser claramente registrado pela sociedade classificadora da embarcação ou certificado estatutário.

**Recomendação 3:** Estabelecer uma norma de execução obrigatória para sistemas de revestimento em tanques de carga de novas embarcações.

Problema exposto: Corrosão em tanques de carga.

Medida proposta: Estabelecer normas de execução para revestimentos de tanque de carga.

Afim de evitar a queda prematura do sistema de revestimento do tanque de carga (que é proposto na Recomendação nº 2 acima) um padrão de especificação e execução deve ser desenvolvido para esses sistemas.

Aplicação: O Regulamento II-I/3 do SOLAS'74 deve ser alterado para introduzir uma norma obrigatória de execução (vida útil do revestimento) para os revestimentos que são sugeridos para os tanques de carga para navios petroleiros de casco duplo. A IACS deveria desenvolver essa norma em conjunto com a indústria. Posteriormente, um documento propondo a norma obrigatória de revestimento teria de ser admitido por um Estado-membro da IMO.

**Recomendação 4:** Revestimentos de tanques de lastro devem ser efetivamente reparado após a queda.

Problema exposto: Corrosão em tanques de lastro seguido de queda do revestimento (figura 14).

Medida proposta: Reparação e manutenção do revestimento.

**Figura 13:** Degradação prematura do revestimento (bolhas) após 5 anos de serviço, tanque mostrado após os reparos serem realizados



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

Não existe qualquer requisito obrigatório para reparos ou manutenção a ser realizada em revestimentos de tanques após sua queda. No entanto, um padrão de reparo no revestimento foi recentemente desenvolvido pela IACS está disponível no site (IACS – Recomendação 87). A queda do revestimento deve ser tratada de forma eficaz, mas considera-se que algumas experiências e fatos avaliados, ao se utilizar a norma da IACS, devem ser analisados antes de considerar uma norma obrigatória.

Recomendação: Recomenda-se que os armadores realizem o reparo e manutenção do sistema de revestimento de suas embarcações em conformidade com a norma desenvolvida pela IACS, Recomendação 87 - Orientações para o reparo e manutenção do revestimento de tanques de lastro e tanques combinados lastro/óleo em embarcações.

**Recomendação 5:** Estruturas de tanques casco duplo devem passar por manutenção de forma eficaz.

Problema exposto: Corrosão e fadiga em tanques de lastro e carga.

Medida proposta: Manutenção do casco.

**Figura 14:** Perda Estrutural devido a corrosão



Fonte: Guia de inspeção de tanques ABS.

Aplicação: A manutenção das estruturas do tanque já é obrigatória para os armadores (em virtude do Código ISM), porém os procedimentos adequados e normas de reparo e manutenção ainda precisam ser estabelecidos. A atualização do manual de manutenção TSCF pode ser o meio de introdução juntamente com os requerimentos da IMO ou requisitos ligados a classificação.

**Recomendação 6:** Procedimentos comuns a serem criados para lidar com trincas devido à fadiga.

Problema exposto: Trincas devido à fadiga.

Medida proposta: Desenvolver uma resposta adequada à trincas por fadiga que inclui análises, quando apropriado, e reparos proativos ou modificações que possam ser necessários. É importante haver métodos adequados e uniformes para lidar com importantes casos de fadiga e considera-se que, assim é possível fornecer melhores orientações para que os vistoriadores avaliem e identifiquem falhas significativas.

As orientações também devem ser seguidas para que procedimentos adequados sejam executados nas trincas que foram encontradas: incluindo análise e avaliação de fadiga, reparos proativos, métodos recomendados de reparo e possibilidade de reforços.

Além disso, um sistema de comunicação formal entre os armadores, operadores, classe e construtores deve ser criado, para permitir informações sobre as embarcações com fadiga significativa transferidos entre as partes interessadas, ou quando embarcações irmãs ou semelhantes estão em serviço.

Aplicação: IACS para desenvolver orientações para a identificação de falhas significativas causadas por fadiga e os procedimentos a serem seguidos quando se lida com essas situações. Revisões para IMO Resolução A.744 (18) também devem ser consideradas.

**Recomendação 7:** Unificar as normas de construção e fabricação durante a construção e reparos.

Problema exposto: Variações nos padrões de fabricação e construção durante a construção e reparos.

Medida proposta: Estabelecer padrões para construção do casco e unificar o conteúdo, normas e procedimentos da vistoria inicial de classe e vistorias estatutárias.

Estabelecer e unificar normas para reparos nos navios existentes (incluindo as recomendações TSFC para reparos estruturais).

Aplicação: A IACS desenvolve normas, procedimentos e requisitos que permitam a unificação das vistorias de classe.

**Recomendação 8:** Sistema fixo de detecção de hidrocarbonetos deverão estar localizados em espaços adjacentes aos tanques de carga.

Preocupação: Infiltração em espaços adjacentes aos tanques de carga.

Medida proposta: Sistema fixo de detecção de hidrocarbonetos devem estar localizados dentro do casco duplo e espaços do fundo duplo para permitir um monitoramento constante da atmosfera do tanque.

Aplicação: O regulamento II-I/3 do SOLAS'74 deve ser alterado para requerer como obrigatório um sistema fixo de detecção de hidrocarbonetos. Tal medida é apenas para navios providos com sistema de gás inerte em tanques de carga: 20.000 DWT e acima.

A IACS estabelece normas e requerimentos para um adequado sistema de detecção de hidrocarboneto.

Recomendação: Os armadores e operadores de navios petroleiros existentes de casco duplo devem ser encorajados a considerar a instalação de um sistema fixo de detecção de hidrocarbonetos, fornecendo um monitoramento constante da atmosfera do casco duplo e fundo duplo.

## **9 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No mercado altamente competitivo de hoje, tornou-se imprescindível evitar paralisações imprevistas. As regulamentações de todo o mundo incentivam um melhor gerenciamento de riscos, tendo em vista a proteção do meio ambiente e dos cidadãos.

A análise dos pontos críticos da estrutura auxilia a inspeção e a manutenção preventiva, mas somente terá a efetividade concluída se os dados forem registrados e as ações decorrentes, executadas.

Um gerenciamento de riscos bem conduzido é de vital importância para o sucesso do projeto. O transporte de produtos perigosos é um dos projetos mais evidenciados com relação aos riscos decorrentes de projetos mal estudados, pois os mesmos podem gerar acidentes catastróficos. Portanto, acredita-se que a metodologia apresentada neste trabalho possa contribuir positivamente para novos estudos na área de gerenciamento de riscos, com a análise das principais áreas críticas de uma embarcação. Evidencia-se, portanto, a necessidade de rever as normas internacionais e internas e sua efetiva aplicação e cumprimento.

## REFERÊNCIAS

ABS. (2011). Guide for Hull Inspection and Maintenance Program, Houston.

CANELLA, Hugo de Mattos. **Análise da integridade do casco de navios graneleiros através de modelo computacional**. 2009, 47f. Projeto Final de Curso Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

CONEXÃO marítima. Disponível em:  
<<http://www.conexamaritima.com.br/oceano/oceano.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

ESTMAVIO. Disponível em: <[http://www.geocities.ws/g\\_anjos/estrnavio.htm](http://www.geocities.ws/g_anjos/estrnavio.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2016.

Factors influencing accelerated corrosion of Cargo Oil Tanks. OCIMF paper: September 1997.

FONSECA, Maurílio M. Arte Naval. Volume I e II. **Serviço de Documentação da Marinha**. 7ª ed. 930p. Rio de Janeiro: Editora SDM. 2002.

IACS recommendation 47 “Shipbuilding and Repair Quality Standard”

IACS Recommendation 87 “Guidelines for coating maintenance and repairs for ballast tanks and combined cargo/ballast tanks on oil tankers”

IMO resolution A.798 (19) “Guidelines for the selection, application and maintenance of corrosion prevention systems of dedicated seawater ballast tanks”

Maffei, Antonio C. L. Garantia da Qualidade na Construção de Navios Militares de Superfície. Rio de Janeiro: ESG, 2013.

SILVA, Jefferson. **Poluição por óleo no litoral norte da Bahia**. Bahia, 2000