

Inspeção submarina: perspectivas e avanços

Antonio Alves Carvalho
aacarvalho@oceanering.com

Marcelo Cavalcante Pereira
macelo.pereira@uol.com.br

Nadège Bouchonneau
nadege.bouchonneau@gmail.com

José Alexandre Barbosa Farias
jabar@petrobras.com.br

Jorge Luiz Farias Brito
jorge.brito@petrobras.com.br

Resumo

O objetivo do presente artigo é apresentar as possíveis alternativas para inspeção de cascos de navios do tipo FPSOs (do inglês “Floating, Production, Storage and Offloading”) para garantir a integridade da estrutura, evitando danos materiais, desastres ambientais e até perda de vidas humanas, mostrando possíveis métodos existentes no mundo para realização dessas análises. Uma vez que a maior parte dos sistemas de inspeção de estruturas submarinas pertence a empresas multinacionais, as pesquisas de desenvolvimento de sistemas nacionais são apresentadas nesse trabalho.

Palavras-chave: Inspeção submarina. Sistemas automatizados. ROV; FPSOs.

Abstract

The purpose of this article is to present possible alternatives for inspection of hulls of the type FPSOs ("Floating, Production, Storage and Offloading") to ensure the integrity of the structure, preventing material damage, environmental disasters and even human losses, showing possible methods existing in the world to conduct such analyses. Since most of the systems for inspection of offshore structures owned multinational enterprises, research and development of national systems are presented in this work.

Keywords: Offshore inspection. Automated system. ROV; FPSOs.

1 Introdução

No início da década de 70, com o preço do barril de petróleo cotado entre US\$ 2,50 e US\$ 3,00 no mercado internacional, tornava-se inviável economicamente a exploração de petróleo na Plataforma Continental Brasileira, face ao elevado custo de infra-estrutura necessário ao desenvolvimento da produção em mar aberto.

Em 1973 eclodia a primeira das crises de petróleo, elevando seu valor a patamares imagináveis pela indústria e que chegaram a superar em dez vezes o valor final da década de 60, viabilizando a produção de petróleo em mar aberto.

Em meados da década de 80, com o direcionamento das atividades exploratórias para as regiões de águas profundas da Bacia de Campos, foram descobertos os campos gigantes, como Marlim, Albacora e Barracuda.

Hoje, a Bacia de Campos é a maior região produtora de petróleo em águas profundas do mundo e do país. Perfurações na Bacia de Campos confirmaram a existência de acumulações de óleo em águas ultraprofundas, exigindo a reavaliação dos sistemas de produção atualmente utilizados, a fim de atender as novas exigências impostas pelas condições ambientais e características dos hidrocarbonetos encontrados.

Impulsionada a partir de 1970 pelas descobertas de campos gigantes em águas profundas e graças aos enormes avanços atingidos a partir de programas tecnológicos como Procap 1000, 2000, 3000, promovidos pela PETROBRAS, com o objetivo de desenvolver tecnologia para a produção de petróleo em águas profundas (até 1000 metros) e ultraprofundas, a empresa posicionou-se como líder mundial na tecnologia de produção de petróleo, atingindo o patamar de produção de mais de 1,5 milhões de barris de petróleo por dia ao final de 2002. Portanto, com base nos números atuais, podemos afirmar que a produção de petróleo no Brasil, pelo menos na próxima década, será governada por uma forte atividade alto mar.

O uso de unidades flutuantes tais como os FPSOs (Figura1) e FSO (do inglês “Floating, Storage and Offloading”) para produção de óleo em águas profundas tem aumentado consideravelmente em volta do mundo, principalmente devido

a suas características técnicas e econômicas. Só na Bacia de Campos existem quatorze unidades em operação atualmente e planos para instalação de outras em breve. Atualmente, há mais de 100 FPSOs em funcionamento ou em construção no mundo. Esta é a unidade de produção flutuante dominante e corresponde a cerca de 60% de todos os sistemas flutuantes de produção.

Geralmente, um FPSO/FSO é um navio petroleiro de casco simples que foi adequadamente convertido a fim de armazenar e produzir o óleo como uma unidade de flutuação estacionária. Depois que a operação é iniciada, o contínuo carregamento e descarregamento, as cargas de ondas variáveis, o ambiente marinho salino e outros efeitos fazem com que FPSO/FSO seja exposto a fadiga, degradação e processo corrosivo. Dessa forma, estas unidades devem ser periodicamente inspecionadas a fim de assegurar sua integridade estrutural, minimizando o risco para o ambiente e os trabalhadores.

Devido à dificuldade de docagem de um FPSO em um estaleiro e para evitar parada da produção, as inspeções são realizadas geralmente *offshore* (em mar), na própria localização. Essas inspeções interferem na produção (por exemplo, os tanques de óleo devem ser esvaziados) e são difíceis de executar (as paredes devem ser bem limpas). A inspeção de toda a unidade é um processo demorado e caro. O uso de mergulhadores para inspecionar visualmente a parte externa do casco pode não garantir que toda a superfície foi examinada.

FPSOs, normalmente, deve permanecer por mais de 20 anos na localização, operando em um ambiente complexo. Algumas propriedades da água como: salinidade, temperatura, índice de oxigênio, nível de pH e composição química podem variar de acordo com a localização e profundidade de água. Também, a superfície interna do casco está exposta a um ambiente agressivo, devido a detritos como borra e areia que se depositam no interior dos tanques de carga.

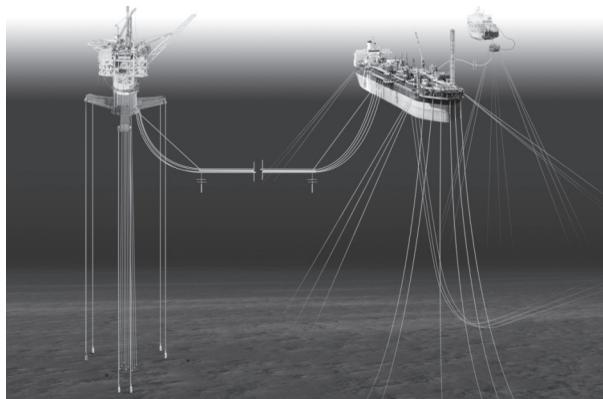


Figura 1: FPSO em operação.

Ambientes marinhos são reconhecidos por serem extremamente corrosivos para aços de média e baixa liga. Por razões econômicas, tais aços ainda são os materiais preferidos para estruturas da engenharia, tais como cascos de navios e estruturas *offshore*. Estatísticas para cascos de navio mostram que em torno de 90% das falhas em navios são atribuídas à corrosão, incluindo corrosão por fadiga. Para navios petroleiros e navios cargueiros já ocorreram inúmeros afundamentos e desastres ambientais atribuídos à falta de inspeções e cascos altamente corroídos.

A inspeção é uma parte importante no processo da gestão da integridade, como um meio de monitorar o desempenho da estrutura e assegurar sua segurança. Nos últimos anos ocorreram significantes desenvolvimentos na área de confiabilidade, baseados em planos de inspeção para estruturas complexas, tais como estruturas *offshore*. As consequências de falhas em estruturas *offshore* podem resultar em perda de vida humana, temporária perda da produção, impacto ambiental negativo ou até mesmo catastrófico colapso da estrutura (Figuras 2 e 3). O uso de avançadas técnicas para a otimização das inspeções por ensaios não destrutivos são particularmente benéficas, dadas as consequências de possíveis falhas nessas estruturas.

Esse artigo apresenta um estudo das possíveis alternativas para inspeção automatizada de estruturas submarinas, tais como cascos de navio FPSO, assim como também as pesquisas e projetos nesta linha de desenvolvimento.



Figura 2: Acidente com navio.



Figura 3: Desastre ambiental.

2 Inspeção de um FPSO

As unidades flutuantes de produção e armazenagem de petróleo são sujeitas a inspeções periódicas, a cada 60 meses, determinadas por sociedades classificadoras. Nestas inspeções o navio é docado em um estaleiro, onde é realizada uma limpeza do casco e posterior inspeção, conforme Figura 4. Esta operação acarreta em um grande custo para a empresa, não somente pela operação de limpeza e inspeção do casco, que geralmente é realizada por empresas contratadas, mas principalmente pela parada da produção da unidade.



Figura 4: Vistoria realizada em um navio petroleiro.

Uma alternativa que tem sido utilizada com frequência, principalmente para inspecionar áreas localizadas, é o uso de inspeção por mergulhadores com a unidade em operação, Figura 5. No entanto, esta opção também não é adequada, pois constitui um trabalho altamente insalubre para o mergulhador, além de não garantir confiabilidade no ensaio. Desta forma, ambas as alternativas não são viáveis: enquanto uma reduz o resultado da produção, a outra pode implicar em uma inadequada avaliação das condições de integridade do casco e, conseqüentemente, subavaliações dos riscos de vazamento de óleo através de falhas estruturais decorrentes de corrosão, com todas as perdas inerentes a este tipo de ocorrência, tais como agressão ao meio ambiente, perdas financeiras por interrupção da produção, danos em relação à imagem da empresa e até mesmo perda de vidas humanas.



Figura 5: Inspeção por mergulhador.

Empresas estrangeiras têm começado a utilizar veículos submarinos automatizados para realizar a inspeção dessas embarcações em serviço. Entretanto, este tipo de serviço tem um custo elevado e ainda não está disponível no Brasil. Verifica-se a aplicabilidade deste tipo de tecnologia em tarefas de limpeza, inspeção e manutenção em construções e estruturas, tais como cascos de navios e plataformas marítimas de exploração de petróleo. Dentre estes principais sistemas, pode-se citar:

2.1 Sistema Lamp Ray

O sistema Lamp Ray pertence à Imetrix. Imetrix é uma empresa americana especializada na fabricação e aplicação de sistemas avançados de inspeção e posicionamento submarino. Seus principais desenvolvimentos são: o sistema de inspeção de casco de navios, Lamp Ray; um veículo de operação remota, Talon; um sistema de posicionamento de veículos de operação remota com princípio acústico e um simulador inteligente para treinamento de operadores de veículo de operação remota.

O Lamp Ray é um sistema autosuportado, facilmente transportável até o local onde se encontra ancorada a embarcação que terá seu casco inspecionado. Os principais componentes do sistema Lamp Ray são: veículo de controle remoto com dispositivos de inspeção (visual, potencial eletroquímico, medição de espessura de revestimento e de chapa), Figura 6; sistema de posicionamento e navegação, que é instalado nos bordos da embarcação para fornecer as coordenadas espaciais necessárias à sua operação; sistema de lançamento e recolhimento do veículo, que consiste de um guincho elétrico apoiado em uma estrutura tubular; sistema de energia; estação de controle que consiste de computadores, monitores e manipulador, gravadores de vídeo, que suportam a operação do veículo, a configuração das ferramentas de inspeção e o armazenamento dos resultados.

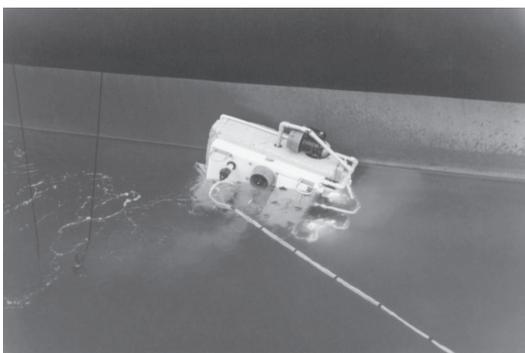


Figura 6: Inspeção com o Lamp Ray.

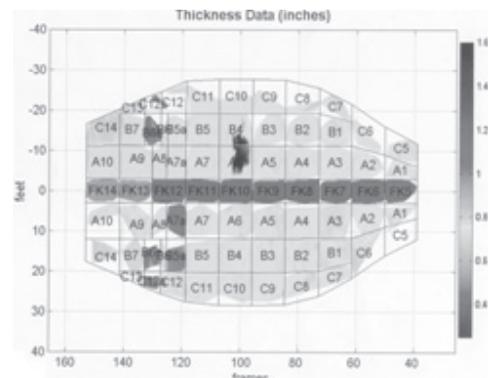


Figura 7: Mapa de cores.

Os dados adquiridos na inspeção são manipulados por programas de computador especialmente desenvolvidos para essa aplicação e que permitem a visualização global dos dados processados e consolidados na forma gráfica, conforme Figura 7.

Entre os aspectos positivos deste sistema pode-se citar: o veículo é de fácil operação e possui excelente manobrabilidade; as câmeras de vídeo do sistema apresentam uma excelente resolução, suficiente para atender aos requisitos necessários a uma inspeção visual remota detalhada; a quantidade de dados obtidos excede o mínimo exigido pelas Sociedades Classificadoras e as quantidades recomendadas nos procedimentos utilizados atualmente pela PETROBRAS.

Os aspectos negativos constatados são: o veículo não possui potência suficiente para utilização em ambiente *offshore*; o veículo não é robusto o suficiente para operação em ambiente *offshore*; é necessária a limpeza prévia do casco para a realização da inspeção.

2.2 Sistema MeasureMate

O MeasureMate é um sistema que executa uma varredura externa detalhada das chapas do fundo do casco de um navio, empregando um veículo operado remotamente, Figura 8. Foi desenvolvido pela empresa norueguesa Red Band. As medições nesse sistema são feitas com o navio ancorado, nas condições carregado ou lastreado. Os tanques não precisam estar limpos ou enquadrados às condições de segurança (isento de gases explosivos). A inspeção completa de um navio de 150.000 dwt (*Porte Bruto*) é realizada em 20 horas e o número de medições realizadas é 1.500 vezes maior que o requerido pelas sociedades classificadoras. Os resultados são apresentados em gráficos com padrão de cores similares aos do sistema Lamp Ray.

Devido à extensa quantidade de dados armazenados é possível calcular facilmente a espessura média das chapas, com objetivo de realizar cálculos estruturais.

O sistema MeasureMate é armazenado em um contêiner compacto para permitir seu transporte por avião até a locação do navio.



Figura 8: Sistema Measuremate

2.3 Sistema spectrum

Método de inspeção desenvolvido inicialmente com o nome de OCROV pelas empresas DNV- Det Norske Veritas e Oceanering, especialmente para FPSOs, e hoje pertencente a uma terceira empresa norueguesa chamada ARGUS RTM. Trata-se de um veículo *offshore* operado remotamente (*Crawler*, Figura 9) para inspeção submarina da parte inferior dos cascos de navios de grande porte. Esse sistema permitiria realizar medições com rendimento de até 1m²/s. O sistema em desenvolvimento trabalha com uma nova metodologia de inspeção conhecida como medida de espessura por ressonância (do inglês *Ressonance Thickness Measurement – RTM*). O princípio básico desse novo método de medição, conhecido como ressonância de meia onda, já era conhecido há mais de 40 anos. No entanto, só teve a utilização possibilitada nos dias atuais depois que um método inovador de análise de espectros de frequência acústica foi desenvolvido em conjunto pela empresa norueguesa DNV – Det Norske Veritas e Kongsberg Defence & Aerospace.

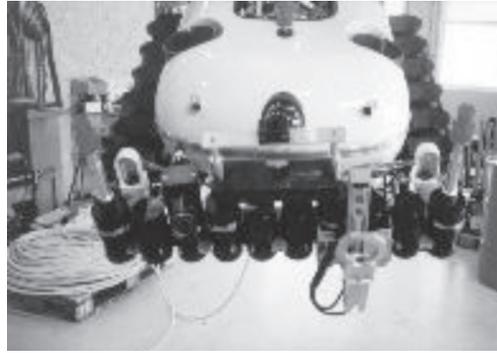


Figura 9: Crawler.

Devido aos princípios físicos do método, não existe necessidade de remoção de produtos de corrosão ou de incrustações marinhas para realizar a inspeção. Os resultados das medições de espessura são apresentados em tempo real em gráficos 3D/2D e podem ser transferidos para outros *softwares* de análise, como o *Nauticus*, da DNV, transmitindo e recebendo sinal. O sistema de posicionamento do veículo é acústico e conhecido como SWAPS (*Shallow Water Acoustic Positioning System*) e o de controle baseado em realidade virtual é conhecido como MIMIC (*Modular Integrated Man-machine Interaction and Control*), que foi desenvolvido pela empresa Oceaneering, tradicional fabricante de Veículos de Operação Remota (ROV) da Noruega. O veículo em desenvolvimento permite varredura da parte submersa do casco de FPSOs durante operação *offshore* ou na etapa de conversão, resultando em redução da necessidade de docagem à seco.

2.4 Robô hexápode

Os robôs hexápodes (com seis patas) escaladores de superfícies ferromagnéticas são projetados, principalmente, para locomoção em superfícies com qualquer ângulo de inclinação, inclusive de ponta cabeça. O que determina a aplicação do mesmo são os sensores, que nesse caso serão exclusivos para inspeção de cascos de navios, podendo estender-se a plataformas marítimas, tanques de armazenamento com superfícies de aço etc.

A Robotic Crust Crawler Design & Development e Lynxmotion Inc. são empresas Norte-Americanas que desenvolvem robôs hexápodes escaladores de superfícies ferromagnéticas. Existem algumas formas possíveis de se fixar um corpo em superfícies ferromagnéticas, porém, estudando as características de cada uma e também as possibilidades viáveis e funcionais para o fim desejado, escalar cascos de navios e plataformas de exploração petrolífera, algumas soluções são descartáveis pela complexidade de implementação ou então pela ineficiência. Entre os sistemas utilizados atualmente em robôs escaladores, um dos mais empregados em máquinas para inspeção de dutos de ar-condicionado, por exemplo, são ventosas de borracha com acionamento por eletroímãs. A Robotic Crust Crawler oferece o modelo HexCrawler HDATS (Heavy Duty all Terrain System), este consiste em um robô com três graus de liberdade fabricado em alumínio. A Lynxmotion possui o modelo Extreme Hexpod 3, o qual também é um robô com três graus de liberdade, porém de policarbonato, conforme as Figuras 10 e 11.



Figura 10: Modelo HexCrawler da empresa Robotic Crust Crawler.

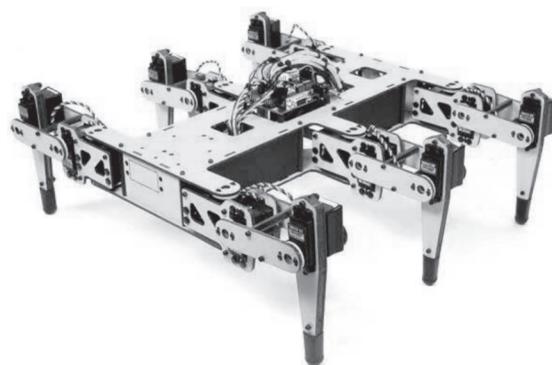


Figura 11: Modelo Extreme Hexpod 3 da empresa Lynxmotion.

São modelos bastante parecidos, que possuem características muito semelhantes. Os servo-motores são os mesmos para os dois modelos. Em relação ao peso, o HexCrawler pesa 2,608kg, o Lynxmotion 3,234kg. Quanto ao tamanho, para o HexCrawler e o Lynxmotion as medidas do robô são 50,6 x 30,48 x 15,24cm e 43,18 x 40,64 x 17,78cm, respectivamente.

2.5 Octopus da empresa Cybernetix

Cybernetix é uma empresa Francesa especialista em robótica, a qual desenvolveu um sistema de inspeção subaquática automatizado para limpeza e inspeção de casco de navio. O Octopus é um veículo com rodas capaz de inspecionar superfícies verticais, horizontais e inclinadas de aço por meio de seus potentes ímãs, conforme Figura 12. O sistema pode ser programado para seguir um caminho pré-determinado ou ser controlado remotamente, utilizando um joystick.



Figura 12: Octopus inspecionando casco de um navio.

Ao se deslocar ele pode limpar uma região de 40 cm de largura, usando um jato de água de alta pressão (em torno de 2500bar) no bico e alimentado por uma bomba de alta pressão, realizando essa limpeza. Ele também pode utilizar um pacote de vácuo para separação dos resíduos (pintura) de água, evitando a poluição sobre a área inspecionada. Este sistema pode cobrir mais de 150m/h quando utilizado para remoção de incrustação ou 90m/h quando utilizado para remover pintura.

Suas medidas são 1,1m de comprimento, 0,56m de largura e 0,46m de altura, e pesa 75kg. O sistema incorpora dois motores elétricos que proporcionam uma velocidade máxima linear de 0,3m/s. A rota programada pelo Octopus considera o estado de tinta e quantidade de incrustações marinhas no casco.

No Brasil ainda não existe nenhum sistema de inspeção automatizada de estruturas *offshore*. No entanto, existem alguns trabalhos de pesquisa em algumas universidades e centros de pesquisas com financiamentos, principalmente da PETROBRAS e da financiadora de projeto – FINEP. Entre estas principais pesquisas pode-se citar:

2.6 Veículo de Empuxo Tractionado (VET)

O VET é um desenvolvimento do centro de pesquisa da PETROBRAS – CENPES e consiste de um equipamento para inspeção de baixo custo de aquisição, baixa complexidade operativa e de baixa manutenção, devido à simplicidade do sistema proposto, Figura 13. Foram retiradas do veículo todas as complexidades elétricas, hidráulicas e eletrônicas necessárias ao sistema de propulsão, assim como os dispositivos remotos, e substituído por cabos acionados por guinchos portáteis instalados nos dois bordos no convés da embarcação, diminuindo, assim, o custo, a complexidade da operação e da manutenção. Para a aderência ao casco, substituiu-se os sistemas motores ou magnéticos por empuxo, utilizando um tanque de ar instalado.

Um sistema de lastro possibilita a locomoção com certa facilidade sobre as incrustações marinhas, possibilitando a realização da maior parte das vistorias solicitadas pelas Sociedades Classificadoras sem a necessidade de limpeza prévia do casco. É importante lembrar que os veículos submarinos de controle remoto não podem substituir o mergulhador em serviços de maior complexidade como limpeza de caixas de mar, manutenção em turret em locais de difícil acesso ou de geometria complexa etc.

Nestes casos é indispensável a utilização do mergulhador, a não ser que os dispositivos tenham projetos específicos para este uso. A utilização do veículo se dará na inspeção das regiões dos tanques de carga, até a popa, ou seja, regiões de geometria simples, Figura 14. Além das vantagens mencionadas o sistema proposto tem a vantagem de ter uma plataforma praticamente livre para a adaptação de acessórios, devido a não utilização de equipamentos necessários à propulsão e à estabilidade, comuns na maioria dos veículos existentes. A força do empuxo dada numa plataforma estável permite ao sistema realizar com maior precisão trabalhos que exigem maior força, como a limpeza do casco.

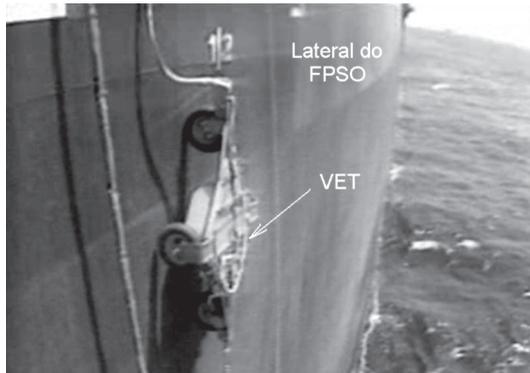


Figura 13: VET.

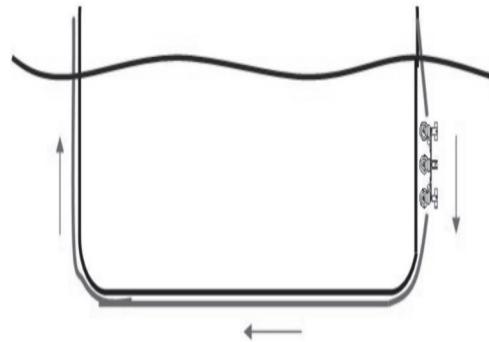


Figura 14: Esquemático do VET.

2.7 Veículo de inspeção com roda magnética da COPPE/UFRJ

Este sistema de inspeção é composto por um veículo com oito rodas magnéticas para se fixar ao casco da embarcação e um aparato de ultrassom para realizar a avaliação da integridade do casco.

A principal função deste veículo é deslocar um conjunto de sensores ultrassônicos sobre o casco do navio, com o objetivo de localizar defeitos na área inspecionada. Este sistema foi projetado para operar em profundidade máxima de 40m e é controlado por um cabo umbilical conectado ao computador. Seu peso é aproximadamente 170kg no ar e na água o peso é equilibrado pelo empuxo. O veículo tem dimensões de 1,7m de comprimento, 1m de largura e 0,5m de altura, conforme Figuras 15 e 16.



Figura 15: Visão geral do veículo

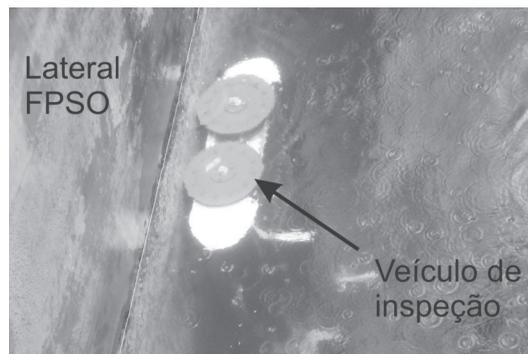


Figura 16: Veículo em operação.

O sistema possui um chassi em alumínio, oferecendo suficiente flexibilidade para transpor irregularidades da superfície em inspeção, tais como cordões de solda. Oito rodas magnéticas mantêm o sistema aderente ao casco durante a inspeção e sua força de atração foi testada experimentalmente. O veículo é movimentado sobre o casco do navio por dois motores controlados eletronicamente, cada um para quatro rodas. Câmeras foram também instaladas no veículo para auxiliar o operador durante a inspeção.

Além de controlar o movimento do sistema de inspeção, o computador é também responsável pela aquisição dos dados. Todos os sinais ultrassônicos são registrados on-line no computador no formato A-Scan para uma possível checagem com imagens C-scan formadas pelo programa de controle.

O método por ultrassom é baseado na medida do tempo de propagação de uma onda acústica emitida por um transdutor que percorre um meio líquido e reflete quando a onda encontra a superfície interna ou externa da chapa em inspeção. A distância entre o transdutor e a chapa pode ser obtida a partir sinal refletido pela parede interna da chapa e é usada para avaliar a corrosão interna. O tempo de voo entre os ecos da parede externa e interna da chapa está relacionado à espessura da chapa e permite uma avaliação da corrosão externa. Uma foto do aparato utilizado neste sistema é apresentada na Figura 17.

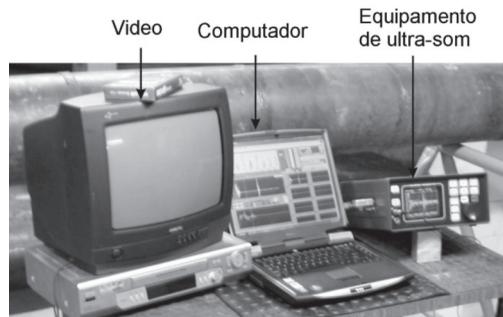


Figura 17: Aparato utilizado no sistema de inspeção com roda magnética.

2.8 ROV

Devido ao grande avanço tecnológico no campo da indústria naval e, conseqüentemente, aumento da profundidade de trabalho em ambientes subaquáticos, tornou-se inviável a exploração por meio de seres humanos.

Por isso, equipamentos que operem remotamente sem necessidade de mergulhadores, como ROVs (*Remotely Operated Vehicle*), conectados e controlados de uma embarcação ou de uma plataforma através de um cabo chamado de umbilical, vêm sendo cada vez mais utilizados em operações submarinas, executando importantes tarefas na inspeção de equipamentos, tubulações e cabos submarinos.

Com o aumento da profundidade, a exploração feita por mergulhadores tornou-se impossível devido à grande pressão em seu corpo, acima do normal, que comprometia sua saúde, podendo causar a morte, pois com esta coluna d'água é impossível a utilização de mergulhadores. O surgimento do ROV se deu a partir da necessidade de explorar o fundo do mar, e não há nenhum modo prático, seguro e economicamente possível, sem a utilização dessas ferramentas. Por outro lado, em um período de apenas 10 anos, o petróleo em mar brasileiro saiu de uma profundidade de 124m (águas rasas) para uma profundidade de 2000m de coluna d'água (águas ultraprofundas). Dessa forma, o uso de ferramentas automáticas para operar nestas profundidades, como ROVs, tornou-se imprescindível.

Inicialmente, esse tipo de equipamento foi produzido para o desenvolvimento e crescimento da exploração de óleo e gás em águas profundas. Posteriormente, se viu necessário em áreas como: oceanografia, pesca, engenharia civil, segurança, entre outras, fazendo com que surgissem vários modelos, formas e tamanhos.

ROVs, veículos subaquáticos remotamente operados, é o nome mais comum e aceito para um robô que trabalha debaixo d'água. Eles são amarrados, ligados a um navio através de um cabo umbilical, pelo qual o robô recebe energia e comandos do operador, que se encontra em um contêiner no convés de um navio e transmite para o operador informações coletadas.

Basicamente, os ROVs são equipados com câmeras de vídeo e luminárias, dependendo da sua utilização ele pode possuir, sonares, hidrofones, magnetômetros, e muitos sensores para medir variáveis, tais como: temperatura, classificação da água, nível de correnteza, além de máquinas fotográficas, manipuladores e braço cortante ou perfurador. A maioria dos ROV's são projetados para desempenhar uma função específica, determinando, assim, suas características físicas e estruturais.

Os ROVs são constituídos de um módulo de flutuabilidade na parte superior e um chassi de liga metálica na parte inferior, promovendo, assim, a flutuação do equipamento. Esse módulo de flutuabilidade é feito de material de baixa densidade. O material de iluminação e os sensores são colocados na parte superior, e os componentes pesados na parte

inferior, de tal forma que toda a carga seja bem distribuída, obedecendo ao centro de flutuação e ao centro de gravidade, fazendo com que haja uma boa estabilidade e equilíbrio. Os cabos são colocados dentro de tubulações cheias de óleo para proteção contra corrosão. Os propulsores são responsáveis pela movimentação do ROV. Câmera de vídeo, luzes e manipuladores são posicionados na parte frontal do ROV, eventualmente na parte traseira para ajudar em alguma manobra. Esse equipamento é muito utilizado na indústria de petróleo para realizar, entre outras atividades, a supervisão da montagem de equipamentos de exploração e produção em grandes profundidades, Figura 18.

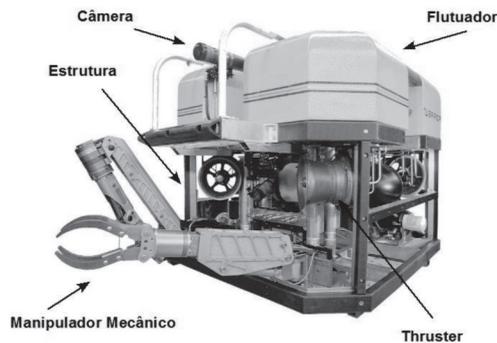


Figura 18: ROV e suas partes principais.

Dentre algumas funções do ROV podemos citar a realização de tarefas típicas de grande destreza, tais como soldagem, posicionamento de um sensor de ensaios não destrutivos para inspeção de soldas em estruturas *offshore*, reparos nas soldas com defeito etc. Tais tarefas são realizadas com grande dificuldade por mergulhadores. A utilização de um sistema automático facilita a execução destas tarefas, além de ser absolutamente necessário para operações em águas profundas e ultraprofundas, onde não é possível a presença de mergulhadores. Mas recentemente este equipamento vem sendo avaliado na inspeção de casco de navios FPSOs.

Embora já existam empresas no mundo que fornecem serviços de ROVs, no Brasil pesquisas para desenvolvimento de ROVs é assunto muito novo e se restringe a projetos financiados em algumas universidades. Entre esses projetos podemos citar:

A COPPE/UFRJ desenvolve um ROV para realizar inspeções em ambientes subaquáticos e para operar em profundidade de até 40 metros. Batizado pelo nome de LUMA, testes já estão sendo realizados com este sistema.

A UFBA construiu, com muita criatividade, utilizando tubos de PVC, um protótipo de ROV de baixo custo para operar em uma profundidade máxima de 30m. Desenvolvido pela Rede de Tecnologias Limpas – TECLIM/UFBA o protótipo é conhecido pelo nome GALATEA e tem a função de realizar monitoramento subaquático.

Em busca de uma solução viável para os problemas de avaliação da integridade de estruturas marítimas, como casco de FPSOs, e para preservação do meio ambiente aquático, a Universidade de Fortaleza – UNIFOR em parceria com a empresa ARMTEC tecnologia em robótica e financiamento da FINEP e BNB está desenvolvendo um projeto de um Mini-ROV equipado com um braço robótico para operar em uma profundidade de 100m, Figura 19. Um primeiro protótipo já foi montado e os resultados são muito promissores.

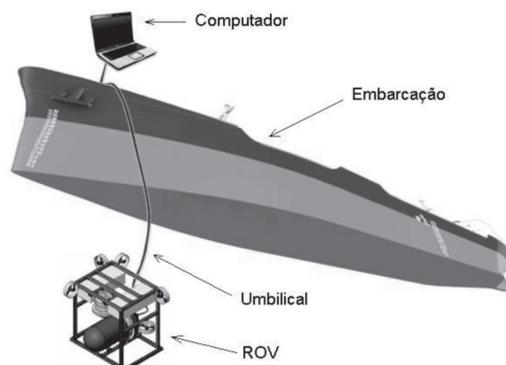


Figura 19: ROV operando em um FPSO.

3 Comentários finais

Estima-se que vazamentos em casco de navios petroleiros acontecem, em grande parte, por problema de corrosão, causando diversos impactos ambientais o qual demora muito tempo para a natureza reparar esse problema. Também é de conhecimento que a maioria destes acidentes ocorrem por falta de inspeção nos cascos ou por manutenção precária. A inspeção mais utilizada nos dias atuais ainda é a realizada por amostragem, utilizando megulhadores, o que não garante confiabilidade nos resultados. A docagem da unidade em um estaleiro também não é uma alternativa viável, uma vez que interfere diretamente no processo produtivo.

A busca por um sistema de inspeção automatizado para casco de navios FPSOs, com a unidade em operação, tem motivado engenheiros e pesquisadores de vários países. Algumas empresas no mundo já desenvolveram sistemas para prestação de serviço de inspeção de cascos de FPSOs, no entanto, estes têm um alto custo e ainda não estão disponíveis no Brasil, principalmente devido à grande demanda.

Para suprir esta carência a PETROBRAS e agências de fomento à pesquisa, como o CNPq e a FINEP, têm realizado investimentos em algumas universidades, com objetivo de desenvolver uma tecnologia nacional que seja capaz de realizar a inspeção de cascos de navio com o máximo de confiabilidade e o mínimo de interferência no processo produtivo.

Referências

- BAKER, M. J.; DESCAMPS, B. Reliability-based methods in the inspection planning of fixed offshore steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, Oxford, v. 52, n. 1, p 117-131, 1999.
- CARVALHO, A. A. *Detection of surface flaws by pulse-eco ultrasonic technique using multi-channel system*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.
- CARVALHO, A. A.; SILVA, I. C.; REBELLO, J. M. A. *Automated ultrasonic system for FPSO hull inspection: report on field tests at angra bay*. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 2003.
- CARVALHO, A. A.; SILVA, I. C.; REBELLO, J. M. A. *Automated ultrasonic system for FPSO hull inspection: report on laboratory tests at CENPES/PETROBRAS*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2002.
- CARVALHO, A. A. et al. Automated multi-channel system for ultrasound inspection on a FPSO type ship hull. In: EUROPEAN CONFERENCE NON-DESTRUCTIVE TESTING, 8., 2002, Barcelona. *Anais...* Barcelona: AEND / EFNDT, 2002. p. 386-394.
- CARVALHO, A. A. et al. On the reliability of automated ultrasonic system for hull inspection in ship-based oil production units. *Applied Ocean Research*, Oxford, v. 25, n. 5, p. 235-241, 2003
- MARQUES, F. C. R. et al. Inspeção automatizada do fundo de cascos de navios de Tipo FPSO, In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 7., 2003, FLORIANÓPOLIS. *Anais...* Florianópolis: ABENDE, 2003. 1 CD-ROM.
- MOAN, T.; AYALA-URAGA, E.; XIAOZHI WANG. *Reliability-based service life assessment of FPSO structures: discussion, transactions - Society of Naval Architects and Marine Engineers*. New York: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2004.
- MOAN, T.; HOVDE, G. O.; BLANKER, A. M. Reliability-based fatigue design criteria for offshore structures considering the effect of inspection and repair. In: THE OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE (OTC), 1993, Houston. *Anais...* Houston: Offshore Technology Conference, 1993. 1 CD-ROM.
- ONOUFRIOU, T.; FRANGOPOL, D. M.; Reliability-based inspection optimisation of complex structures: a brief retrospective. *Computers & Structures*, Elmsford, v. 80, n. 12, p. 1133-1144, 2002.
- QUIN, S.; CUI, W., Effect of corrosion models on the time-dependent reliability of steel plated elements. *Marine Structures*, Barking, v. 16, n. 1, p 15-34, 2003.
- SAGRILO, L. V. S. et al. A Reliability-based fatigue inspection planning of fixed offshore structures. In: OFFSHORE engineering. Chichester: Computational Mechanics, 1997. p. 303-318.
- SOUZA, V. V. C. *Structural analysis for the conversion of a FPSO*. 2002. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/PRG_0599.EXE/6084_2.PDF?NrOcoSis=16934&CdLinPrg=pt>. Acesso em: 10 jul. 2008.

SOBRE OS AUTORES

Antonio Alves de Carvalho

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Ceará em 1999, M.Sc. em Materiais pela UFRJ em 2002, D. Sc. em Materiais pela UFRJ em 2006. Atualmente ocupa o posto de Engenheiro na empresa OCEANEERING

Marcelo Cavalcante Pereira

Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR.

Nadège Bouchonneau

Engenheira Mecânica pela Ecole Nationale de Mécanique et des Microtechniques (ENSMM, França) em 2003, M.Sc. Em Ciência de Materiais pela Universidade de Franche-Comté (Besançon, França) em 2003, D. Sc. Em Mecânica e Materiais pela Universidade de Franche-Comté (Besançon, França) em 2007. Atualmente é pesquisadora entre a UNIFOR e a empresa ARMTEC Tecnologia em Robótica, com uma bolsa de Desenvolvimento Científico Regional (DCR) da FUNCAP/CNPq.

José Alexandre Barbosa Farias

Engenheiro Mecânico pela Fundação Técnica Educacional Sousa Marques, Engenheiro de Segurança do Trabalho pela UFF. Ocupa desde 1998 o cargo de técnico de manutenção pleno na PETROBRAS.

Jorge Luiz Farias Brito

Técnico de equipamentos pleno da PETROBRAS desde 2003.

Recebido em: 14.10.2008

Aceito em: 11.06.2009

Revisado em: 14.08.2009