

1. Introdução

1.1. Histórico do crescimento da produção de petróleo no Brasil

A Petrobrás alcançou em julho de 2005 a média de produção de 1,76 milhões de barris por dia, sendo destes 1,45 milhões só na Bacia de Campos, o que corresponde a 82,8% da produção Nacional e coloca a Região entre as maiores produtoras de petróleo no mundo. Sua meta é a auto-suficiência de petróleo em 2010 com a produção de 2,0 milhões de barris por dia, sendo a maior parte transportada para terra através de dutos submarinos.

Na Bacia de Campos existe um sistema de dutos rígidos submarinos com 1785 km de extensão, com diâmetros variando de 4 até 24 polegadas, destinados principalmente à exportação de óleo e gás. Deste total, 408,2 km (23%) encontra-se em profundidades superiores a 300 metros, portanto, fora dos limites de intervenção com mergulhadores. Existe também uma pequena malha de dutos flexíveis para esse mesmo fim, mas por razões econômicas prevalece a tendência de redução desse quantitativo substituindo essa malha de flexíveis por dutos rígidos.

Levantamentos feitos na mesma bacia mostraram que até 2002, havia 441 km de dutos submarinos instalados entre 100 e 1900 metros de profundidade com idade próxima da vida útil estabelecida por projeto. Um dos problemas de maior incidência em dutos rígidos submarinos de elevada idade é a redução de espessura localizada devido à corrosão interna e/ou externa.

Os dutos metálicos ao longo de suas vidas úteis podem apresentar defeitos causados por agressões do meio ambiente, pelo próprio produto circulante, por danos causados por terceiros ou , ainda, pela movimentação do solo. Esses defeitos podem acarretar vazamento, impactando o meio com consequências sócio-econômicas-ambientais. (Barry, 2004)

O termo “reabilitação de dutos” hoje tem a seguinte definição: “*a avaliação e renovação de reclassificação necessárias para estabelecer um nível de integridade, baseado em valores conhecidos e aceitos que permitam que um duto*

existente continue operando com segurança, por um determinado período”
(Norman et al, 2000)

O domínio da tecnologia de reparo de dutos é de grande importância para a redução de custos no transporte de hidrocarbonetos por essa razão algumas técnicas de reparo de dutos foram propostas ao longo dos anos.

Imensos esforços têm sido empregados na solução de problemas operacionais que podem interromper as metas do país na manutenção da auto-suficiência, incluindo aqueles ligados à garantia de escoamento da produção através de dutos submarinos. Hoje em dia sem esses dutos não seria viável a manutenção da produção devida, principalmente, à quantidade insuficiente de navios para o atendimento da demanda imposta pelo mercado. Para sanar esse problema várias empresas no mundo vêm desenvolvendo ferramentas para que se recupere um duto rígido submarino em tempo curto, restaurando-se a produção com segurança.

1.2.Sistemas de reparo estrutural de dutos submarinos

O principal não é somente o controle da corrosão, mas também os efeitos que ela provoca podendo comprometer estruturalmente um duto. O duto comprometido poderá operar com capacidade reduzida (pressão e temperatura) e essa redução certamente trará prejuízos na quota de produção.

Como contingência quanto ao problema descrito, diversas empresas montaram bases de reparos de dutos nos principais centros de produção de petróleo para que pudessem criar ferramentas que atendessem a dutos em lâminas d'água cada vez mais profundas. As ferramentas desenvolvidas não são totalmente comprovadas em campo, o que aumenta as incertezas quanto à seleção da solução mais recomendada.

Algumas ferramentas que possuem interfaces com veículos operados remotamente (ROV) para reparo de danos de pequenas dimensões, até o equivalente a um diâmetro do tubo, já estão disponíveis no Brasil.

Os sistemas de reparo sempre contemplam duas situações:

a) Reparo para danos mais extensos no duto – não há um limite dimensional estabelecido. O reparo neste caso envolve a substituição de um trecho do duto por um *spool* (ver figura 1.1). Para este reparo existem os *spools* que utilizam conexões horizontais ou os *spools* que utilizam conexão horizontal e vertical para ligação ao duto.

b) Reparo de um dano localizado no duto – de dimensão máxima igual a um diâmetro externo do tubo. Para este reparo utiliza-se uma abraçadeira bipartida ou *clamp* que tem vedação no diâmetro externo do tubo;

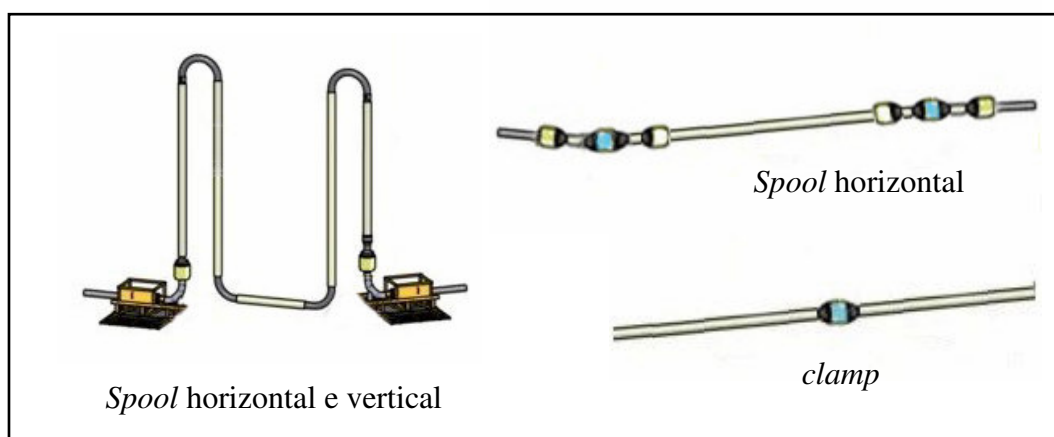


Figura 1.1 – Tipos de conexões de reparo submarinos – spool com conexões horizontais e verticais, spool horizontal e clamp.

Empresas adotaram duas premissas operacionais para o reparo submarino. A primeira é o reparo na superfície onde as duas extremidades do duto rompido são içadas até a superfície. Essa operação é limitada por não oferecer garantias de disponibilidade de embarcação com capacidade para içar o duto e que não existam cruzamentos próximos ao dano que impeçam o seu içamento. A segunda premissa é a instalação de uma estrutura similar a um *manifold* simplificado no fundo sem recuperação da extremidade do duto a ser reparado. A instalação de um *clamp* ou de um conector exige a remoção do revestimento do duto, pois a vedação se dá no diâmetro externo do tubo.

Não há um estudo consolidado averiguando o comportamento estrutural de um duto reparado após sua reentrada em operação, mas a aplicação de algumas ferramentas como a conexão de reparo já é uma realidade.

Algumas empresas consideram como reparo permanente os reparos feitos através de soldagem ou os que utilizam conectores com vedação a base de grafite (Figura 1.2). Essas empresas acreditam que dependendo do tipo de duto pode-se considerar um reparo utilizando selagem com elastômeros como permanente, porem no caso geral este tipo de selagem é considerada provisória.

As conexões existentes no mercado para fins de reparo estrutural consistem de duas meias-canais com um pequeno sistema de acoplagem entre elas e um sistema de fechamento, como abraçadeira. Essas luvas possuem sistema de selagem sofisticado que podem ser argamassa, elastomérico e grafitado. Foram destacadas algumas das luvas existentes no mercado:

Oil States (Houston, EUA) possui uma linha de produtos e serviços voltados para reparos submarinos já fornecidos para o Brasil e para reparos da Shell e BP.

Tekmar, (New Castle, UK), fabrica e fornece abraçadeiras tendo em sua carteira de clientes a Statoil e Petrobras.

Petrobras, (Rio de Janeiro, Brasil) não possui linha de produção das duas meias-canais que possuem um sistema de fechamento, como abraçadeira. Essa luva utiliza uma mistura de cimento e resina epóxi como sistema de selagem.



Figura 1.2 - Clamp da Oil States



Figura 1.3 – Clamp da Tekmar

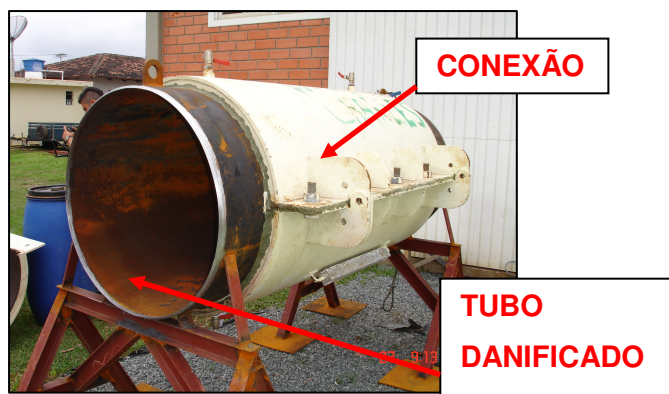


Figura 1.4 – Clamp da Petrobras - conexão de reparo real que foi preparada para testes de bancada (cedida pela Petrobras).

1.3.Objetivos da dissertação

O objetivo desse trabalho foi o estudo para a geração de modelos analíticos e suas extensões por modelos numéricos utilizando um programa comercial de computador, que uma vez parametrizados, possam servir como ferramenta para análise em projeto de dimensionamento de conexões de reparo.

No decorrer desse estudo sobre apenas dois tipos de conexões de reparo foi verificado que o mecanismo de falha possui detalhes que precisavam ser esclarecidos para melhor modelagem dos resultados de testes obtidos através de um programa experimental desenvolvido previamente.

A primeira fase, descrita no Capítulo 2, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre o comportamento esperado para conexões que utilizam argamassa de cimento (*grout*) quando submetido às cargas de compressão.

Em uma segunda fase, no Capítulo 3, descreve o trabalho de laboratório onde se pode repetir a confecção da mistura de resina e cimento, segundo as referências adotadas no programa experimental e realizaram-se ensaios de compressão em corpos cilíndricos dessa mistura para levantamento de curva tensão e deformação assim como determinar o coeficiente de Poisson.

No Capítulo 4 foi feita uma análise dos resultados do programa experimental no qual se baseou esse trabalho. Na sequência, no Capítulo 5, foram gerados modelos analíticos, no Capítulo 6, os modelos numéricos da conexão sem shear keys e, no Capítulo 7, os modelos da conexão com shear keys e seus resultados foram comparados com os resultados do programa experimental. Ao final foram feitos comentários sobre as limitações dos modelos numéricos e as conclusões do trabalho.