

## A IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO DE FABRICAÇÃO DOS DUTOS FLEXÍVEIS SUBMARINOS

Anderson Ascanio Matias de Almeida<sup>1</sup>, André Alves<sup>1</sup>, Vinicius Rocha Mathias<sup>1</sup>, Alan Victor Ferreira Modolo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica

<sup>2</sup> Docente da Faculdade Multivix Vitória

### RESUMO

Desde a descoberta de reservas de petróleo em águas ultraprofundas (5.000 e 7.000m de profundidade) na Bacia de Campos, inicia-se a adequação de todos os processos e equipamentos envolvidos a uma nova realidade. O objetivo deste estudo é identificar e explicar os principais processos de fabricação, montagem e testes em dutos flexíveis “unbonded” e a importância da inspeção durante esses processos realizados nos principais fornecedores. Nesse sentido, este trabalho buscou verificar o grau de conformidade necessária para equipamentos apresentando os aspectos gerais dos dutos flexíveis, explicar e detalhar o processo de fabricação, suas principais camadas, funções e processos de montagem, assim como o tipo de teste realizado, critérios exigidos, rotinas, relatórios e principais pontos para uma efetiva inspeção. Nesse contexto, foi utilizado como estudo de caso de uma inspeção num fornecedor, localizado no município de Vitória, Espírito Santo.

**Palavras-chave:** dutos flexíveis, indústria do petróleo, engenharia, inspeção.

### ABSTRACT

Since the discovery of oil reserves in ultra-deep waters (5,000 and 7,000 m depth) in the Campos Basin, all processes and equipment involved have been adapted to a new reality. The objective of this study is to identify and explain the main manufacturing, assembly and testing processes in unbonded flexible ducts and the importance of inspection during these processes carried out at the main suppliers. In this sense, this work sought to verify the degree of conformity required for equipment, presenting the general aspects of flexible ducts, explaining and detailing the manufacturing process, its main layers, functions and assembly processes, as well as the type of test performed, criteria required, routines, reports and main points for an effective inspection. In this context, it was used as a case study of an inspection in a supplier, located in the city of Vitória/ES.

**Keywords:** Flexible ducts, oil industry, engineering, inspection.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a indústria de petróleo e gás representa cerca de 55,61% da oferta mundial de energia primária, e 59% das necessidades energéticas mundiais em termos da matriz de consumo energético final (IEA, 2006). O preço do barril tem efeitos muito relevantes na determinação do nível de atividade, de investimentos e de exportações dos países grandes produtores (alguns deles especializados basicamente nesse produto, a exemplo de Arábia Saudita e Venezuela, entre outros). A evolução de setores industriais, como as indústrias química, automobilística e de construção naval, é ligada umbilicalmente à indústria de petróleo. Os componentes de intensidade de capital e de padrão

tecnológico na indústria de petróleo são extremamente relevantes, de modo que a indústria foi responsável pelo desenvolvimento de toda uma indústria diferenciada em seu bojo: a indústria para-petrolífera.

Desde a descoberta de reservas de petróleo em águas ultraprofundas (5.000 e 7.000m de profundidade) na Bacia de Campos, inicia-se a adequação de todos os processos e equipamentos envolvidos a uma nova realidade (Filho; Perestrelo; Molina-Palma, 2015). As condições dessa nova realidade dificultam enormemente a extração, o que reflete diretamente nos custos relativos aos equipamentos, onde boa parte desses custos está diretamente associada aos dutos flexíveis (Xavier, 2005).

No Brasil, os dutos flexíveis têm sido utilizados pela Petrobras em grande escala em águas ultra profundas, principalmente com desenvolvimento de novos materiais, processos e estruturas. Esses dutos são constituídos de uma estrutura helicoidal formadas por múltiplas camadas de aço e polímeros superpostas, cada uma destinada a resistir a um tipo de esforço solicitante (Xavier, 2005).

Segundo Neto e Maurício (2001), o grande desafio da exploração e produção de petróleo no Brasil é o desenvolvimento de tecnologia e conhecimento suficientes para alcançar maiores profundidades de lâminas d'água, onde se encontra a maior parte da reserva nacional. Maiores profundidades significam maiores carregamentos nas linhas flexíveis em operação, maiores custos de instalação e operação maiores cargas de instalação (Souza, 2002). Desse modo, a inspeção de fabricação dos dutos flexíveis torna-se uma ferramenta muito importante na avaliação da conformidade, o que garante uma melhor avaliação desses equipamentos a ser utilizados. Por esse motivo, mostra-se em evidência para realização do estudo de caso o testemunho pelo inspetor de fabricação dos testes de aceitação de fábrica em dutos flexíveis. Os testes testemunhados são: teste hidrostático; teste com pig com placa calibradora; teste de continuidade e resistência elétrica; e teste de drenagem do sistema de gás.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Indústria do Petróleo

Na indústria do petróleo as principais etapas de exploração são basicamente a prospecção, perfuração e escoamento. Na prospecção, é onde realiza-se a localização de bacias sedimentares por meio de análise detalhada do solo e do subsolo. Quando descobertas jazidas de petróleo, inicia-se a perfuração, onde é perfurado um poço para confirmação da existência de petróleo. Após a confirmação de existência, outros poços são perfurados. Depois da etapa de perfuração, inicia-se a etapa de escoamento do petróleo. O transporte do petróleo do poço marítimo até as plataformas flutuantes é realizados por meio dos dutos flexíveis, que podem ter diversas classificações conforme é descrito neste estudo.

### 2.2 Aspectos Gerais dos Dutos Flexíveis

Entende-se “Duto Flexível” por um conjunto de equipamentos específicos e largamente utilizados na produção petróleo no mar. Cada equipamento desse conjunto é conhecido como “Tramo de duto flexível” ou simplesmente “Tramo flexível”. Assim um duto flexível pode ser formado por um ou vários desses tramos. Os dutos flexíveis são construídos numa estrutura formada por múltiplas camadas de aço e polímeros superpostas, conforme podemos observar na Figura 1. Cada uma destinada a resistir a um tipo de esforço solicitante ao longo da sua vida útil e com a função de transportar fluidos. Essa estrutura em camadas propicia aos dutos flexíveis resistência e estanqueidade, sem comprometer a flexibilidade.

Figura 1: Duto Flexível.

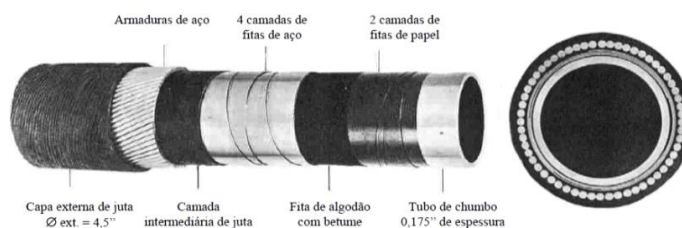


Fonte: Dutos Flexíveis - UCP - 2015

Os dutos flexíveis têm sido usados pela indústria de petróleo há várias décadas. Os primeiros dutos construídos possuíam uma estrutura de camadas aderentes, compostas por fibras têxteis e aço, que eram embebidas em uma matriz elastomérica. Segundo Lemos (2005, p.1), a primeira utilização que se tem notícias ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, após o desembarque das tropas na Normandia (o chamado Dia D) em 1942, quando o exército inglês instalou alguns tubos cruzando o Canal da Mancha para transporte de combustível na operação conhecida pelo nome de código P.L.U.T.O (Pipe Line Under The Ocean). Dois diferentes tipos de tubos foram instalados: um flexível, também conhecido pelo código H.A.I.S (iniciais do engenheiro chefe da companhia anglo-iraniana de óleo Mr. Hartley que o projetou) e outro rígido.

O H.A.I.S possuía 3” de diâmetro (ID) e pesava cerca de 30ton/km. Apesar da semelhança ao utilizado atualmente o mesmo possuía camada interna de chumbo e apenas uma armadura (Figura 2).

Figura 2: Ilustração das camadas e seção transversal do tubo.

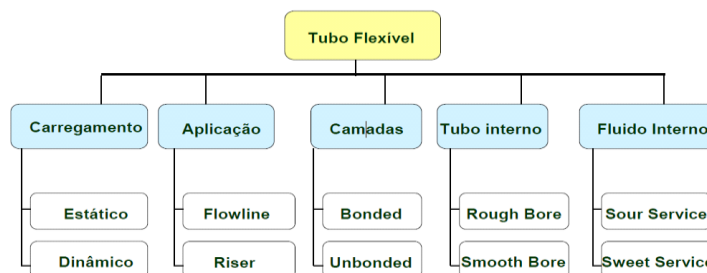


Fonte: <http://combinedops.com/pluto.htm>

A partir do final da década de 1970, a utilização de dutos flexíveis espalhou-se ao redor do mundo. No Brasil, os dutos flexíveis foram instalados nos sistemas antecipados de Enchova Leste e Garoupa Namorado em 1979, pela Petrobras.

Os tubos flexíveis são estruturas multicamadas onde cada camada possui sua aplicação estrutural ou funcional definida. Esses dutos podem ser classificados de acordo com o tipo de carregamento solicitante (dinâmicos ou estáticos), quanto ao tipo de aplicação (“risers” ou “flowlines”), quanto ao grau de liberdade existente entre as camadas (“bonded” ou “unbonded”), quanto à rugosidade da camada mais interna (“rough bore” ou “smooth bore”) e quanto às características dos fluidos transportados (“sour service” e “sweet service”), conforme Figura 3.

Figura 3: Classificação dos dutos flexíveis.



A principal diferença entre os “flowlines” e os “risers” é a diferença caracterizada pelo posicionamento no campo de exploração. Os “flowlines” ficam assentados no leito de marinho após a instalação e estão sujeitas exclusivamente a cargas estáticas. Sua função consiste na interligação de equipamentos submarinos e os poços até o ponto onde começam a ser solicitados por carregamentos dinâmicos, onde uma conexão com um “riser” é requerida.

Os “risers” são estruturas que conectam a unidade flutuante (plataforma) à tubulação destinada à serviço estático (“flowline”), podendo ser utilizadas em diversas aplicações. Segundo Lemos (2005), os “risers” podem ser estáticos ou dinâmicos dependendo do tipo de carregamentos a que estão expostos. A principal diferença construtiva entre os “flowlines” e os “risers” se dá pela disposição de camadas poliméricas adicionais de fitas de redução de atrito nos “risers”, uma vez que nos “flowlines” o movimento relativo das camadas ocorre apenas durante sua instalação e não durante toda sua vida em serviço (Figura 4).

Figura 4: Diferenças construtivas entre “risers” e “flowlines”.



Fonte: Dutos Flexíveis - UCP - 2015

Os dutos flexíveis também podem ser classificados quanto ao grau de liberdade existente entre as camadas, como os dutos de camadas aderidas (“bonded”) e dutos de camadas não aderidas (“unbonded”), conforme Figura 4. Os tubos “bonded” possuem camadas coladas umas nas outras como num

processo de vulcanização. Isso faz com que as camadas atuem de maneira uniforme, ou seja, como uma única camada. Os tubos “unbonded” possuem suas camadas em contato com as adjacentes de tal forma que o movimento relativo entre elas seja permitido.

Figura 5: Duto flexível Bonded e Unbonded.



Fonte: <http://www.lem.ep.usp.br/pef418/petrobras.pdf>

Segundo a API RP 17B (2014), os dutos flexíveis podem ser também divididos em dois grupos com relação a sua camada interna: “rough bore” e “smooth bore” (Figura 6). A principal característica de um duto “rough bore” (interior rugoso) consiste no fato de sua camada interna ser uma carcaça intertravada metálica. Esse tipo de flexível é utilizado para o transporte de produtos bifásicos ou gases. O duto tipo “smooth bore” (interior liso) possui uma camada polimérica como a camada mais interna, ou seja, camada de contato com fluido. Esse tipo de flexível é usado para o transporte e injeção de água.

Figura 6: Duto flexível Rough Bore e Smooth Bore.



Fonte: Dutos Flexíveis - UCP – 2015

A atividade de extração de petróleo no pré-sal é extremamente complexa e envolve uma série de riscos. Dessa forma, os equipamentos envolvidos no processo devem seguir um padrão de qualidade bastante rigoroso. Diante disso, os dutos flexíveis são submetidos a uma série de normas e padrões construtivos, e que se não atendidos o duto não é homologado. Todas as etapas do projeto devem estar de acordo com as normas regulamentadoras,

como a API 17J, que normalmente é utilizada pela indústria para dutos flexíveis “unbonded”.

Essa especificação define os requisitos técnicos para assegurar, de forma dimensional e funcional, que os dutos flexíveis sejam projetados e fabricados em conformidade com as normas e critérios. Segundo a API 17J (2014) e N-2409 (1994), os requisitos mínimos são determinados no projeto, seleção de materiais, fabricação, teste, marcação e armazenamento de dutos flexíveis.

Segundo Campello (2014), as principais normas que tratam de dutos flexíveis são:

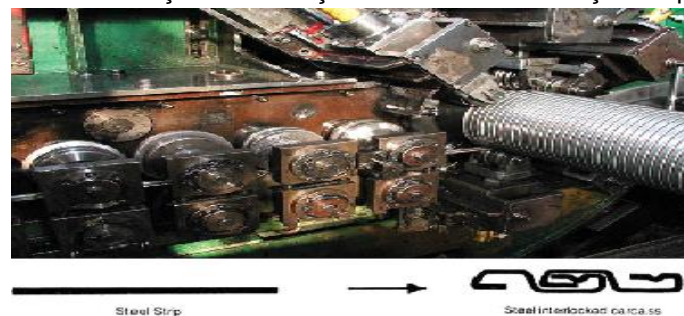
- API RP 17B: Recommended practice for flexible pipe (Recomendações práticas para dutos flexíveis), que está na sua 5ª edição de 2014;
- API Spec 17J: Specification for unbonded flexible pipe (Especificação para dutos flexíveis de camadas não aderentes), 4ª edição de 2014;
- ISO 13628-2: Flexible pipe system for subsea and marine application, que está na sua 2ª edição de 2006. Essa norma fornece requisitos, critérios e recomendações gerais para o projeto, análise, fabricação, testes, instalação e operação de dutos flexíveis;
- Norma Petrobras N-2409: Essa norma define diretrizes para os dutos flexíveis, que pelo entendimento da empresa não estaria completado nas normas internacionais. A especificação Petrobras I-ET-3000.00.6500-291-PAZ-038 R.0 (2014) substitui a N-2409 R.A a fim de atualizar alguns requisitos de acordo com a ISO 13628-2 e incluir alguns ajustes específicos.

### **2.3 Processos de Fabricação, Montagem e Testes de Dutos Flexíveis**

Os processos de fabricação, montagem e testes de dutos flexíveis que serão apresentados neste trabalho são referentes à estrutura “rough bore”. A primeira camada do duto flexível, a carcaça intertravada, é composta de perfis metálicos, intertravados entre si e dispostos de forma helicoidal em passo reduzido e não possui nenhuma função de vedação (Figura 7). Sua principal

função é proporcionar suporte à camada termoplástica com a finalidade de resistir ao colapso devido à difusão do gás e à pressão hidrostática externa.

Figura 7: Fabricação da carcaça intertravada e formação do perfil.



Fonte: Catalogo Coflexip (2014)

A carcaça está em contato direto com os fluidos transportados, então, para sua confecção, são utilizados aços inoxidáveis. Segundo API RP 17B (2014), os materiais recomendados para uso na camada de carcaça são os aços inoxidáveis ferríticos (AISI 409 e AISI 430), aços inoxidáveis austeníticos (AISI 304, AISI 304L, AISI 316 e AISI 316L) e aço inoxidável de alta-liga (Duplex UNS S31803). Os principais parâmetros a serem considerados na seleção de material para a camada de carcaça são a temperatura, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, cloreto e o teor de oxigênio do fluido. Esses materiais aplicados a camada de carcaça, quando submetidas a ambientes e serviços ácidos, deve ser resistente a HIC e SSC com referência à NACE MR0175 conforme aplicável. Testando contra SCC para fluidos com conteúdo de alto teor de cloreto também deve ser levado em consideração.

Após a fabricação da carcaça, inicia-se a fabricação da camada de pressão, numa máquina extrusora (estrudado a quente sobre a carcaça intertravada) e tem como função garantir a estanqueidade do duto flexível (Figura 8), impedindo que o fluido interno (fluido escoado) entre em contato com as camadas mais externas. Conforme API RP 17B (2014), os principais materiais poliméricos usados nos dutos flexíveis são polietileno de alta densidade (HDPE), polietileno reticulado (XLPE), poliamida (PA) e polifluoreto de vinilideno (PVDF). Outros polímeros, tais como polipropileno, cloreto de polivinil e poliuretano, também têm sido usados, principalmente, nas camadas de isolamento térmico.



Figura 8: Extrusão da barreira de pressão.



Fonte: Catálogo Coflexip (2014)

A próxima etapa é a armadura de pressão que é composta de perfis metálicos (em formas de Z, C, Teta, K e T), intertravados entre si e dispostos de forma helicoidal em passo reduzido (a exemplo da carcaça metálica). A principal função da armadura de pressão é de resistir aos esforços radiais (pressão interna, pressão externa, cargas radiais de lançamento, etc.). Dessa forma, a armadura de pressão ajuda a reduzir os esforços sobre a carcaça intertravada. Além da armadura de pressão, pode-se ter uma segunda camada, chamada de “armadura de pressão reserva” (Figura 9).

Figura 9: Processo de armadura de pressão e perfis metálicos.



Fonte: Catálogo Coflexip (2015)

Entre as armaduras de pressão e tração, é aplicado a camada antidesgaste (Figura 10), com o objetivo diminuir o atrito e o desgaste devido ao movimento relativo entre as diversas camadas do duto flexível. Essa camada pode ser extrudada ou pode ser em forma de fitas e geralmente são aplicadas entre os trechos que serão utilizados como “risers”, pois eles estarão submetidos a esforços cíclicos (dinâmicos), acentuando o deslizamento entre as camadas.

Figura 10: Aplicação de fitas antidesgaste.



Fonte: Dutos Flexíveis - UCP – 2015

Após a camada antidesgaste, inicia-se a fabricação da armadura de tração (Figura 11), sendo composta de perfis metálicos (chatos ou redondos), que são aplicadas aos pares em sentidos inversos e de forma helicoidal em passo longo (ângulo de assentamento entre 20° e 55°), proporcionando balanceamento ao tramo sob carga. Sua principal função é de prover resistência mecânica na direção axial, ou seja, resistir às cargas axiais.

Figura 11: Fabricação das armaduras de tração.



Fonte: Dutos Flexíveis - UCP – 2015

Conforme API RP 17B (2014), o material tipicamente usado para as camadas de pressão e de tração é o aço carbono, variando o seu percentual de carbono. O aço de alto teor de carbono é aplicado quando o projeto do duto flexível requer alta resistência e exigências ambientais. Os aços de médio e baixo carbono são utilizados para ambientes de serviço ácido e deve levar em conta a espessura e corte transversal do perfil fio para qualificação.

Após a fabricação da armadura de tração, são aplicadas individualmente fitas de alta resistência de forma helicoidal em passo reduzido. O número de aplicações e os sentidos de cada aplicação variam caso a caso, a depender da resistência requerida em projeto. Sua função prover resistência mecânica na direção radial, impedindo folgas radiais ou o desarranjo das armaduras de tração (gaiola de passarinho). As fitas de alta resistência são compostas por material sintético (fibras de vidro e aramida) e possuem alta resistência mecânica sob esforços de tração. Segundo a API 17J (2014), o fornecedor deve documentar as propriedades das fitas de alta resistência.

Depois das fitas antidesgaste, é fabricado a capa externa e de proteção (Figura 12), que é extrudada a quente sobre as armaduras de tração (fitas de alta resistência), servindo para mantê-las na posição correta, além de proteger o duto flexível contra abrasão, danos externos (impacto de ferramentas durante a

instalação, impactos com o solo marinho, etc.), corrosão e ajudar no isolamento térmico da linha.

Figura 12: Fabricação da capa externa e de proteção.



Fonte: Dutos Flexíveis - UCP – 2015

Alguns dutos flexíveis possuem uma camada externa adicional, que pode ser constituída de perfis metálicos intertravados, de forma construtiva similar à carcaça metálica ou, no caso de ser polimérica, é extrudada à quente, a exemplo da capa externa.

Existe também a camada de isolamento térmico (Figura 13), que é composta por um conjunto de fitas de material isolante (Confoan), aplicadas individualmente de forma helicoidal. O número de aplicações varia caso a caso, a depender do isolamento total requerido pelo projeto da estrutura. Sua função é de prover isolamento térmico ao fluido escoado no interior do duto. As fitas de isolamento térmico são compostas por material sintético (espumas - “syntactic foams”). Sua principal função das fitas é prover isolamento térmico e evitar assim a formação de hidratos e parafinas.

Figura 13: Fabricação do isolamento térmico.



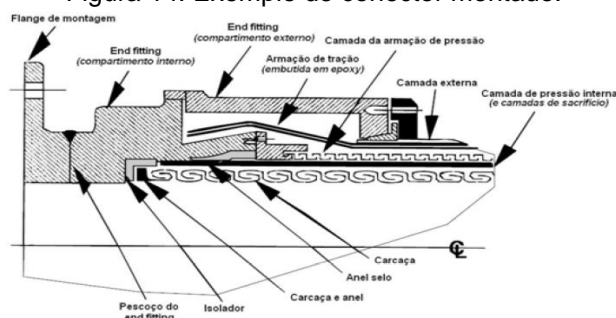
Depois da conclusão das fases de fabricação do tubo flexível, inicia-se o processo de montagem dos conectores em suas extremidades que exige conhecimento, treinamento, técnica e senso crítico por parte de todos os envolvidos. Para a montagem dos conectores de tubos flexíveis, o fornecedor deve manter (no mínimo) disponíveis desenhos do conjunto e detalhamento do conector, diagrama unifilar, plano de qualidade e documentos que identificam o

tramo, estrutura, cotas de montagem e todos os componentes internos do conector.

O conector é um dispositivo mecânico e de vedação que delimita as extremidades dos dutos flexíveis, que permite que o duto seja manuseado e conectado (de modo estanque) a outros equipamentos de campo. Conforme Campello (2014, p.14): "o conector é formado por um corpo metálico forjado e uma jaqueta externa. Dentro dele, as camadas do duto flexível são terminadas. O forjado interno possui um perfil de um tronco de cone sobre o qual são assentados os arames das armaduras de tração do duto. Os vazios são preenchidos por uma resina epóxi que, por aderência aos arames e ao corpo metálico do conector, garante a formação de um bloco rígido" (Figura 14).

De acordo com a API RP 17B (2014), recomenda-se o uso dos aços AISI 4130 e aço inoxidável (duplex) para os componentes do conector e também o uso de revestimentos resistentes a corrosão. Segundo API 17J (2014), o fabricante dos dutos flexíveis deve indicar a composição química, processo de fabricação, tratamento térmico e algumas propriedades mecânicas (resistência a tração, dureza e impacto charpy) para os materiais metálicos componentes do conector. O material deve ser resistente a erosão e a fragilização por hidrogênio, dependendo do ambiente aplicável.

Figura 14: Exemplo de conector montado.



Fonte: Campello – 2014

Após a conclusão de todas as etapas de montagem dos conectores, iniciam-se as etapas de testes. Segundo a API 17J (2014), os dutos flexíveis devem ser submetidos a vários tipos de testes, dependendo diretamente da sua estrutura. A Tabela 1 resume os testes necessários nos dutos flexíveis.

Tabela 1: Resumo dos testes necessários nos dutos flexíveis.

		Gauge Test	Hydrostatic Pressure Test	Electrical Isolation Test	Electrical Continuity Test	Gas-venting System Test	Sealing Test
Without cathodic protection	Rough bore	X <sup>(1)</sup>	X	n/a <sup>(1)</sup>	n/a	X	X <sup>(2)</sup>
	Smooth bore	n/a	X	n/a	n/a	X	X <sup>(2)</sup>
With cathodic protection	Rough bore	X	X	X	X	X	X <sup>(2)</sup>
	Smooth bore	n/a	X	n/a	X	X	X <sup>(2)</sup>
NOTE 1 X—required; n/a—not applicable.							
NOTE 2 The sealing test is required for risers and optional for other applications.							

## 2.4 Inspeção de Fabricação, Montagem e Testes de Dutos Flexíveis

Segundo a API 17J (2014), todos os principais passos durante o processo de fabricação devem ser sujeitos à inspeção. Os fabricantes devem especificar os pontos de inspeção, os métodos de inspeção e definir os critérios de aceitação. As não conformidades geradas durante o processo de fabricação devem estar disponíveis para revisão do cliente. Abaixo serão apresentados alguns principais pontos e métodos de inspeção. De acordo com a API 17J (2014), segue abaixo os principais pontos de inspeccionados durante o processo de fabricação da carcaça:

Verificar os procedimentos de soldagem, homologação da máquina de solda (a cada início de produção) e a qualificação dos soldadores. Durante o processo deve ser realizada a inspeção visual, verificar a rastreabilidade da matéria-prima empregada, o comprimento medido, a localizações das soldas e o visual e o dimensional do perfil da carcaça.

A superfície externa da carcaça deve ser inspecionada e verificada há existência de falhas como dentes, rachaduras, arranhões, corrosão e distorções.

No mínimo, o fabricante deve especificar tolerâncias para os seguintes parâmetros: diâmetro externo, ovalização e fishscaling.

De acordo com a API 17J (2014), segue abaixo os principais pontos de inspecionados durante o processo de fabricação da barreira polimérica de pressão e capa externa:

Durante o processo deve ser realizada a inspeção visual, verificar a rastreabilidade da matéria-prima empregada, o comprimento medido e o visual e o dimensional do produto. A inspeção visual e spark test da barreira de pressão deve ser contínua e não pode haver falhas durante o processo. Em caso de falhas, o processo de extrusão da barreira deve ser interrompido.

A medição de espessura e diâmetro deve ser realizada em intervalos de 90° ao redor da circunferência do tubo a cada 10m. São retiradas amostras no início e no final da fabricação para realização de testes de viscosidade e tração, dependendo da matéria-prima utilizada.

De acordo com a API 17J (2014), segue abaixo os principais pontos de inspecionados durante o processo de armadura de pressão e tração:

Deve ser verificado os procedimentos de soldagem, homologação da máquina de solda (a cada início de produção) e a qualificação dos soldadores/operadores. Durante o processo deve ser realizada a inspeção visual, verificada a rastreabilidade da matéria-prima empregada, o comprimento medido, a localizações das soldas e o controle dimensional do produto. Realização de ensaios não destrutivos (partículas magnéticas) das soldas realizadas durante a produção. A superfície externa dessa fase deve ser inspecionada e verificada há existência de falhas como dentes, rachaduras, arranhões, corrosão e distorções.

De acordo com a API 17J (2014), segue abaixo os principais pontos de inspecionados durante o processo de fabricação fitas antidesgaste, alta resistência e isolamento:

Durante o processo deve ser realizada a inspeção visual, verificada a rastreabilidade da matéria-prima empregada, o comprimento medido, as emendas das fitas e o controle dimensional do produto.

Após o processo de fabricação, inicia-se o processo de montagem de acessórios (end fitting), que deve ser realizada por montadores qualificados de acordo com os procedimentos aprovados. Essas qualificações devem estar disponíveis para verificação do cliente. Abaixo serão apresentados alguns

principais pontos, métodos de inspeção e aspectos críticos relacionados às etapas de montagem:

- Identificação do conector e tubo;
- Corte de tubo e bloqueio das camadas metálicas;
- Preparação para cravamento traseiro;
- Dobramento dos arames da armadura de tração;
- Imobilização e corte da armadura de pressão;
- Preparação e realização do cravamento dianteiro;
- Assentamento dos arames dos arames da armadura de tração;
- Injeção de resina epóxi no conector.

Após a montagem de acessórios, inicia-se o processo de testes de aceitação de fábrica. Abaixo serão apresentados alguns principais pontos testes realizados:

- Teste hidrostático;
- Teste com pig com placa calibradora;
- Teste de continuidade e resistência elétrica;
- Teste de vent valve;
- Teste de vácuo e injeção de pressão (vedação).

### **3. METODOLOGIA DE PESQUISA**

A inspeção do equipamento foi realizada de acordo com os requisitos normativos da API 17J. Considera-se o projeto e especificações técnicas pela qual a peça será utilizada, qual o poço, fase de fabricação, qual o evento dessa inspeção, um breve detalhamento, qual referência foi utilizada, qual será o critério de aceitação e o resultado da avaliação e observações, caso existam.

O objetivo deste estudo é o de realizar o testemunho dos testes de aceitação de fábrica (FAT's) no duto flexível nas dependências do fornecedor, conforme documentos de referência, normas e requisitos aplicáveis definido no projeto.

### **3.1 Material Inspeccionado**

Tubo flex. prod. gás DI 4" 375.

0PSI - Tubo flexível com especificação: I-ET-3000.00.6500-291-PAZ-038 e API 17J; para produção de gás; DI 4in; pressão trab. 4500psi; para condição estática (flowline); fluido de trabalho: gás; conexão à estrutura marítima flutuante; profundidade máxima operação até 2000 metros.

### **3.2 Atividades Realizadas, Critérios de Aceitação**

#### **3.2.1 Verificação Visual e Dimensional do Pig com Placa Calibradora e Água Antes do Teste Hidrostático**

Verificação visual e dimensional do PIG e placa calibradora antes do teste Hidrostático.

Critério de aceitação: visual e dimensional.

Visual: não é aceitável a presença de riscos.

Dimensional: o diâmetro mínimo da placa calibradora deve ser de pelo menos 95% do diâmetro interno nominal do tubo flexível ou 10mm (0,39in) menor que diâmetro interno nominal caso o tubo tenha diâmetro interno menor que 200mm (7,87in). A espessura do disco da placa calibradora deve medir entre 5mm e 10mm (0,20 a 0,39in).

Verificação do percentual de cloreto na água utilizada para a realização da passagem do PIG com placa calibradora e teste hidrostático.

Critério de aceitação: a água utilizada no processo de passagem do pig deve ser filtrada, com particulado de no máximo 100 microns, e ter teor máximo de 50mg/L de cloreto.



### 3.2.2 Teste Hidrostático

1º etapa: verificação da pressurização até a pressão de teste requerida.

Critério de aceitação: a pressão deverá ser elevada gradualmente em uma taxa de até 43,5psi/min (3,0bar/min) até que alcançado um valor entre 100% e 110% da pressão de teste requerida.

2º etapa: verificação da acomodação com recalque.

Critério de aceitação: após alcance da faixa de pressão descrita acima, mantê-la por período mínimo de 2h pressurizando pausadamente ou despressurizando pela válvula de drenagem da unidade de forma a compensar a queda de pressão proveniente do alongamento do tubo flexível ou elevação da pressão em função da elevação ou diminuição da temperatura interna do tubo.

3º etapa: verificação da estabilização.

Critério de aceitação: após realização do recalque, feche a válvula bloqueadora de pressão, onde o sistema será considerado fechado e estabilizado e pronto para a etapa 4 (24h), quando após um período de repouso de 1h a variação entre a pressão inicial (PI) e pressão final (PF) não ultrapassar em  $\pm 1\%$   $((PI - PF) / PI \pm 1\%)$ .

4º etapa: período de estabilização (24 horas).

Critério de aceitação: após o alcance da estabilização, a pressão final da 3º etapa se torna a pressão inicial desta etapa. Inicia-se, então, um período de monitoramento de 24horas. O ensaio estará aprovado se a variação entre a pressão inicial (PI) e pressão final (PF) não ultrapassar em  $\pm 4\%$   $((PI - PF) / PI \pm 4\%)$ .

5º etapa: despressurização.

Após aprovação do teste, abra a válvula bloqueadora, despressurize o sistema gradualmente em até 246,5psi/min (17bar/min) até que seja alcançada a total despressurização.

### **3.2.3 Inspeção do Pig com Placa Calibradora após Passagem pelo Tubo Flexível e Teste Hidrostático**

Inspeção visual após remoção do PIG com calibre no tubo flexível.

Critério de aceitação: após a passagem do PIG com calibre pelo duto flexível, é realizada inspeção visual na placa calibradora com o objetivo de verificar a ocorrência de danos graves como dentes e entalhes. Pequenos riscos são aceitáveis.

### **3.2.4 Testes de Continuidade e Resistência Elétrica**

Os testes de continuidade e resistência elétrica devem ser realizados após o teste hidrostático.

Testemunho do teste de continuidade entre os conectores de extremidade.

Critério de aceitação: teste de continuidade elétrica:  $< 10 \Omega / \text{km}$  de tubo.

Testemunho dos testes de resistência elétrica devem ser realizados entre os acessórios de extremidade e a carcaça.

Critério de aceitação: testes de resistência elétrica:  $> 1 \text{ k}\Omega$ .

### **3.2.5 Teste de Drenagem de Gás**

Testemunho do teste do sistema de drenagem de gás

Critério de aceitação: o alívio de gás deve ser confirmado em todos os pontos individualmente. Todas as válvulas devem aliviar a pressão de alívio especificada pelo fabricante.

### **3.2.6 Parecer Técnico da Inspeção**

O parecer da inspeção realizada foi considerado satisfatório. O duto flexível inspecionado foi testado e está liberado para embarque.

## **4. RESULTADOS**

Os resultados desta inspeção foram satisfatórios, pois obedeceram às normas vigentes e apresentaram integridade e resistência aceitáveis para os serviços solicitados.

A verificação visual foi considerada aceitável, pois apresentava diâmetro interno nominal de 91,7mm e 5mm de espessura do disco, e a água utilizada no processo de passagem do pig apresentava particulado de 60 microns e teor de 45mg/L de cloreto, sendo aprovado de acordo com os critérios descritos na metodologia.

O teste hidrostático foi considerado adequado para as 5 etapas detalhadas anteriormente.

A inspeção visual do PIG com placa calibradora após passagem pelo tubo flexível e teste hidrostático estava dentro dos parâmetros aceitáveis, sem ocorrência de danos graves, por isso foi considerada aceita.

O teste de continuidade e resistência elétrica foi aceito após apresentar resistência elétrica de  $1,3k\Omega > 1k\Omega$ .

O teste de drenagem de gás foi aceito após constatação do alívio da pressão em todas as válvulas, conforme especificado pelo fabricante.

### **4.1 Registros Fotográficos**

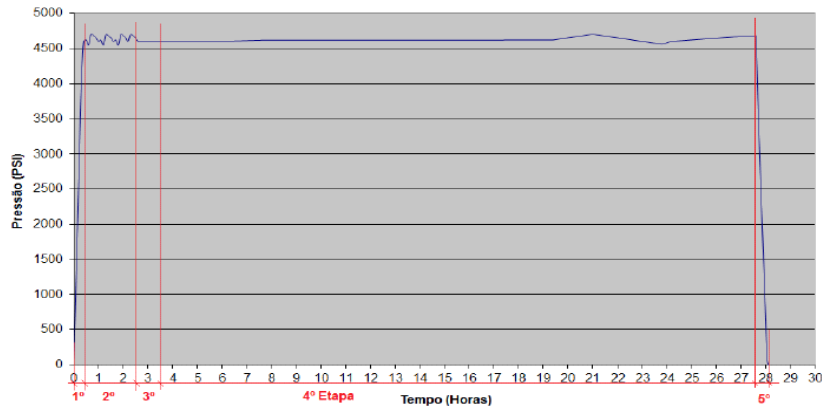
A Figura 15 apresenta a inspeção visual e dimensional (diâmetro e espessura da placa calibradora) antes da inserção no duto flexível. O objetivo é verificar a integridade do PIG e antes e depois da passagem no duto flexível por método comparativo.

Figura 15: Inspeção visual e dimensional do PIG e placa calibradora.



A Figura 16 apresenta o gráfico de teste hidrostático, onde é possível identificar todas as etapas do teste. Na 1° etapa, verifica-se a pressurização até a pressão de teste requerida (4500psi). Na 2° etapa, verifica-se a acomodação com recalque. Nela, observa-se a manutenção da pressão por período mínimo de 2h pressurizando pausadamente ou despressurizando pela válvula de drenagem da unidade de forma a compensar a queda de pressão proveniente do alongamento do tubo flexível ou elevação da pressão em função da elevação ou diminuição da temperatura interna do tubo. Após a acomodação com recalque, inicia-se a 3° etapa, que consiste na verificação da estabilização. Após realização do recalque, o sistema é fechado, estabilizado e pronto para a etapa 4 (24h) quando após um período de repouso de 1h a variação entre a pressão inicial (PI) e pressão final (PF) não ultrapassou em  $\pm 1\%$ . Na 4° etapa inicia-se o período de estabilização e monitoramento de 24 horas. O ensaio foi considerado aprovado pois a variação entre a pressão inicial (PI) e pressão final (PF) não ultrapassou em 4%. O objetivo do teste hidrostático é verificar a integridade e resistência à pressão, que para o duto flexível ensaiado apresentou resultado satisfatório. Assim, finaliza-se com a 5° etapa, onde é realizado a despressurização. O duto flexível é despressurizado gradualmente em até 246,5psi/min (17bar/min) até que seja alcançada a total despressurização.

Figura 16: Gráfico de teste hidrostático.



A Figura 17 apresenta a inspeção visual do PIG com placa calibradora após passagem pelo duto flexível. Não foi constatado a ocorrência de danos graves como dentes e entalhes, apenas pequenos riscos foram identificados que foram considerados aceitáveis.

Figura 17: Inspeção do PIG com placa calibradora após passagem pelo duto flexível.



A Figura 18 apresenta o teste de continuidade e resistência elétrica que foram realizados após teste hidrostático. Os resultados encontrados estão dentro do critério de aceitação e foi considerado satisfatório. Após o teste de continuidade e resistência elétrica, realizou-se o teste do sistema de drenagem de gás, onde alívio de gás deve ser confirmado em todos os pontos individualmente. Todas as válvulas foram testadas de acordo a pressão de alívio especificada pelo fabricante apresentando resultado satisfatório.

Figura 18: Teste de continuidade e resistência elétrica.



## 5. CONCLUSÃO

A realização deste estudo permitiu conhecer mais a fundo os processos de fabricação do duto flexível, as etapas de montagem de conector, os tipos de testes e a grande importância da área de inspeção. Esta última se constitui tarefa de vital importância nos processos submarinos de produção e exploração, em que sua confiabilidade deve ser mantida em níveis elevados.

A produção de petróleo necessita de maior preocupação no que diz respeito à integridade dos dutos flexíveis, visto que a ocorrência de danos nessas estruturas pode causar enormes prejuízos ambientais e econômicos.

Portanto, identificou o estudo de caso a importância dos testes realizados nos dutos flexíveis, pois garantem a integridade física e segurança ambiental onde são instalados. Foi constatado que a inspeção pode se dar em diferentes momentos do ciclo do produto, inclusive nas plataformas de produção, em locais de armazenamento, em instalações ou operações que envolvam o duto flexível.

Nesse sentido, constatou-se que o investimento para o desenvolvimento de novas tecnologias está cada vez maior no Brasil devido às grandes reservas de petróleo na região do pré-sal, o que proporciona a chegada de grandes empresas multinacionais na área de equipamentos submarinos, inspeção e desenvolvimento.

Concluiu-se que os desafios enfrentados pela Petrobras para produção de petróleo proporcionaram um maior desenvolvimento e aplicação dos dutos

flexíveis e também o número de fatores que podem levar a falhas catastróficas. Desse modo, a inspeção de dutos flexíveis torna-se umas das principais atividades realizadas, a fim de minimizar os prejuízos como perdas humanas, mecânicas, ambientais, imagem e os negócios dos envolvidos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 16278 (2014). Disponível em: <[www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=311360](http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=311360)>. Acesso em: 12 maio. 2016.
- API 17J – “**Specification for Unbonded Flexible Pipe**”, 4ª Edição, American Petroleum Institute, novembro 2014. Disponível em: <<http://www.api.org/~media/files/publications/whats%20new/17j%20e4%20pa.pdf>>. Acesso em: 12 maio. 2019.
- API RP 17B – “**Recommended Practice for Flexible Pipe**”, 5ª Edição, American Petroleum Institute, maio 2014. Disponível em: <<http://www.api.org/~media/files/publications/whats%20new/17b%20e5%20pa.pdf>>. Acesso em: 12 maio. 2016.
- CATALOGO TECHNIP, 2014. “**Users guia: Flexible Steel Pipes for Drilling and Service Applications**”. Disponível em <<http://www.technip.com/en/entities/draps/drilling-and-service-applications>>. Acesso em: 21 junho. 2016.
- CAMPELLO, G. C., 2014, “**Metodologia de Projeto para o Sistema de Ancoragem de Conectores de Dutos Flexíveis e Proposição de Nova Tecnologia**”. Tese de D.Sc., PENO-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4453:george-carneiro-campello&catid=381&Itemid=154&lang=pt-br](http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_content&view=article&id=4453:george-carneiro-campello&catid=381&Itemid=154&lang=pt-br)>. Acesso em: 12 maio. 2016.
- LEMONS, C. A. D., 2005, “**Análise de Fadiga em Risers Flexíveis**”. Tese de D.Sc., PENO-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <[www.oceanica.ufrj.br/.../teses/2004\\_doutorado\\_carlos\\_alberto\\_duarte\\_de\\_lemos.pdf](http://www.oceanica.ufrj.br/.../teses/2004_doutorado_carlos_alberto_duarte_de_lemos.pdf)>. Acesso em: 12 maio. 2016.
- FILHO, E. T. A.; PERESTRELO, M.; MOLINA-PALMA, M. A. As descobertas do pré-sal e os desafios competitivos da indústria brasileira do setor de petróleo e gás: uma abordagem prospectiva. CIDADES, Comunidades e Territórios, scielopt, p. 85 – 98, 12 2015. ISSN 2182-3030. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/sociologia-politica/wp-content/uploads/sites/9/2013/03/Tese-de-Doutorado-Edson-Fev-2015-PPGSP-UENF.pdf>.
- NETO, E., MAURÍCIO, J., WACLAWEK, I. “**Flexible Pipe for Ultra-Deepwater Applications: The Roncador Experience**”. In: Proceedings of the 33st Offshore Technology Conference, Houston, USA, 2000.
- REVISTA COPPE, 2013. “**Corrida para o Mar: Os Desafios Tecnológicos e Ambientais do Pré-Sal**”. Disponível em <[http://www.coppe.ufrj.br/pdf\\_revista/coppe\\_presal.pdf](http://www.coppe.ufrj.br/pdf_revista/coppe_presal.pdf)>. Acesso em: 26 Junho. 2013.
- SOUSA, J. R. M., ELLWANGER, G. B., LIMA, E. C. P. “**Na Analytical Model to Predict the Local Mechanical Behaviour of Flexible Risers Subjected to Crushing Loads**”. Em: XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Brasília, Brasil, 2002.
- XAVIER, MARCELO LOPES. **Instalação de dutos flexíveis em águas ultraprofundas**. Rio de Janeiro (2006). XII, 82p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Oceânica. 2006) Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/sociologia-politica/wp-content/uploads/sites/9/2013/03/Tese-de-Doutorado-Edson-Fev-2015-PPGSP-UENF.pdf>.