

ANÁLISE DOS TESTES DE CHAMA E HIDROSTÁTICO EM TUBULAÇÕES REFORÇADAS COM COMPÓSITOS PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA *OFFSHORE*

Jéssica de Brito Marques Cruz¹
Vanessa Limeira Azevedo Gomes²



RESUMO

O crescente avanço tecnológico observado nos últimos tempos tem exigido materiais cada vez mais sofisticados por diversos tipos de indústrias. Materiais convencionais usados em engenharia não têm sido capazes de atender toda essa demanda. Nesse cenário, a aplicação de materiais compósitos na área de exploração *offshore* de petróleo está aumentando continuamente. Esses materiais apresentam boas propriedades mecânicas, baixo peso e boa resistência à corrosão e, por isso, são aplicados na produção de tubulações, que transportam petróleo e outros fluidos desde o leito oceânico até a plataforma ou navio. Assim, o presente trabalho visa analisar qualitativamente tubos reforçados com material compósito para a aplicação na indústria *offshore*. Inicialmente, tubos que sofreram perda de espessura foram reforçados com material compósito de fibra de vidro e, posteriormente, foram submetidos aos testes de resistência ao fogo e hidrostático. Os testes de resistência ao fogo e hidrostático foram conduzidos segundo recomendação ASTM F 1173. Como resultados, todos os corpos de prova passaram nos testes de queima e hidrostático, a maioria atendendo aos requisitos de integridade A e um tubo atendeu à integridade B- ASTM F 1173 [nível L3 - Resolução IMO A 753 (18)].

PALAVRAS-CHAVE

Materiais compósitos. Testes de resistência ao fogo e hidrostático. Indústria *Offshore*.

ABSTRACT

The increasing technological advance observed lately has required materials continuously refined by several sorts of industries. Conventional materials used in engineering have not been able to grant all this demand. In this scenario, the application of composite materials in the area of offshore petroleum exploration is constantly increasing. These materials show good mechanical properties, low weight and good resistance to corrosion, and for this reason, are applied in the pipes production that transport petroleum and other fluids from the ocean floor to the platform or ship. Accordingly, the present work aims to qualitatively analyze pipes reinforced with composite material for the application in the offshore industry. At first, pipes that suffered loss of thickness were reinforced with glass fiber composite material and subsequently subjected to fire and hydrostatic tests. The fire and hydrostatic tests were conducted according to ASTM F 1173 recommendation. As results, all the specimens passed the burn and hydrostatic tests, most of them fulfilling the requirement of A integrity and a pipe fulfilling B integrity - ASTM F 1173 [level L3 - IMO A 753 Resolution (18)].

KEYWORDS

Composite Materials. Fire and hydrostatic tests. Offshore Industry.

1 INTRODUÇÃO

Com a grande demanda de exploração *offshore* de petróleo e aumento da profundidade de exploração, é necessária a busca por novos equipamentos e materiais que suportem as situações adversas às quais estes são submetidos no leito oceânico. As reservas de petróleo no Brasil encontram-se principalmente em regiões de águas profundas, com lâmina d'água entre 400 a 1000 metros, e ultraprofundas, cuja lâmina d'água é superior a 1000 metros de profundidade. (LOPES, 2004).

O material normalmente utilizado na construção de dutos, para transporte de óleo ou mesmo da água produzida, é o aço carbono. Porém, já existem diversos estudos sobre a viabilidade da substituição do aço carbono por material compósito (SALAMA *et al.*, 2002 e JOHNSON *et al.*, 2001), por esse ser mais leve e mais resistente à fadiga (SOUSA *et al.*, 2007), e, por isso, já é aplicado para reforçar tubulações metálicas e plásticas. Compósitos de matriz polimérica oferecem propriedades superiores a outros materiais, entre elas, pode-se citar a alta razão resistência-peso, alta resistência à corrosão e capacidade de serem projetados para atender uma determinada solicitação mecânica, como, por exemplo, em tubulações para o transporte de fluidos. O Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) é uma das formas mais utilizadas dos materiais compósitos, devido às excelentes propriedades, como elevada resistência química e mecânica, sendo muito comum em tubulações (AWWA, 1990).

Diante disso, este trabalho visa analisar a qualidade e confiabilidade das tubulações com reforço estrutural em compósitos, que podem ser usados em plataformas *offshore*, através dos testes de chama e hidrostático, para demonstrar que são mais confiáveis e resistentes que o aço carbono. Essa análise foi realizada nos corpos de prova de tubos reforçados com o TECPIPE, desenvolvido para corrigir problemas de perdas de espessura causados por corrosão em tubulações metálicas e plásticas.

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi um estudo de caso realizado na empresa Glastec Indústria de Plástico LTDA, que fabrica tubulações plásticas e reveste tubulações metálicas e plásticas, através do acompanhamento do teste de chama e hidrostático em tubulações reforçadas com o TECPIPE (material fabricado pela empresa Tecfibra Empreiteira e Revestimentos Anticorrosivos LTDA) para a certificação desse material pela ABS *Quality Evaluations, Inc.* (ABS QE).

O compósito utilizado no TECPIPE é formado por uma matriz polimérica combinada com sucessivas camadas de tecidos e mantas de fibra devidamente orientados, garantindo a resistência mecânica do material, responsável pelo controle das deformações na região reparada. O TECPIPE atende a Norma *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) PCC-2-2006 artigo 4.1 e 4.2 – Reparos de compósitos para Tubulações e Dutos e é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema do reforço TECPIPE.



Fonte: <http://www.tecfibra.com.br/servico/tecpipe/>.

Além disso, foi realizada uma pesquisa de campo nessa empresa, na qual dados de uma amostra de tubulação reforçada com o TECPIPE foram coletados, analisados e comparados com os valores estabelecidos pela norma ASTM F-1173 (*Standard Specification for Thermosetting Resin Fiberglass Pipe Systems to Be Used for Marine Applications*) e NBR 15921-2:2011 - Indústrias de petróleo e gás natural - Tubulação de compósito - Parte 2: Qualificação e fabricação, para então serem apresentados.

Para a verificação do desempenho ao fogo dos corpos de prova representativos de tubulação de compósito, foram realizados ensaios de aplicação direta de chamas (chamas impingentes) em tubos preenchidos por água estagnada, conforme a NBR 15921 - 2:2011, Anexo E, e ASTM F1173-1:2006, *Appendix X2.7 Fire Type IF - Impinging Flame*. Para medição da temperatura, dentro e fora do corpo de prova, foram utiliza-

dos termopares tipo k, e para medição da pressão, dentro da amostra da tubulação, foi utilizado um manômetro. As atividades de montagem da infraestrutura de ensaio, instalação dos dispositivos de instrumentação, confecção dos corpos de prova e execução do ensaio foram realizadas pela equipe de engenheiros e técnicos da Glastec, nas instalações da referida empresa.

Conforme descrito na Tabela 1, o teste de chama teve como variáveis a pressão da água no tubo, a temperatura da água e da chama, o diâmetro do tubo e a massa de gás utilizada para gerar o fogo. O gás que a norma especifica para o teste é o propano, porém foi permitida a troca pelo gás liquefeito de petróleo (GLP), pois forneceu o mesmo fluxo de calor que o gás propano. No final, os parâmetros analisados foram a espessura do tubo e se ocorreu vazamento. No teste hidrostático, as variáveis foram a pressão no tubo e o diâmetro do mesmo, e os parâmetros finais analisados foram presença de vazamento e se suporta a pressão nominal.

Tabela 1: Variáveis e parâmetros dos testes de chama e hidrostático

Testes	Variáveis	Parâmetros analisados no final
Chama	Pressão da água no tubo Temperatura da água e da chama diâmetro do tubo Massa de gás utilizada	Espessura do tubo Presença de vazamento
Hidrostático	Pressão, diâmetro do tubo	Presença de vazamento Suporta a pressão nominal

Fonte: Própria autora, 2018.

2.1. Procedimento Experimental

Nessa seção, será apresentado o procedimento dos testes de chama e hidrostático, realizados nos tubos com diâmetros de 3", 6" e 32". Esses diâmetros foram escolhidos pela empresa.

Os tubos de 6" analisados são de aço e revestidos com TECPIPE e os de 3" e 32" são apenas de PRFV. A quantidade de amostras usadas foi um tubo com diâmetro de 3", cinco tubos com diâmetro de 6" e um tubo com diâmetro de 32". Entre eles, dois tiveram perda parcial de espessura, que é um desgaste na parede do tubo, três tiveram perda total de espessura, que é um furo no tubo e dois não tiveram reparo. As especificações dos tubos são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações dos tubos.

Identificação	Diâmetro	Tipo de Reparo
CP 02-200717-AL	6"	Perda parcial de espessura
CP 03-200717-AL	6"	Perda total de espessura
CP 01-080318-AL	6"	Perda parcial de espessura

Identificação	Diâmetro	Tipo de Reparo
CP 03-090318-AL	6"	Perda total de espessura
CP 06-140318-AL	6"	Perda total de espessura
CP 10/17	3"	Sem reparo
CP 16/17	32"	Sem reparo

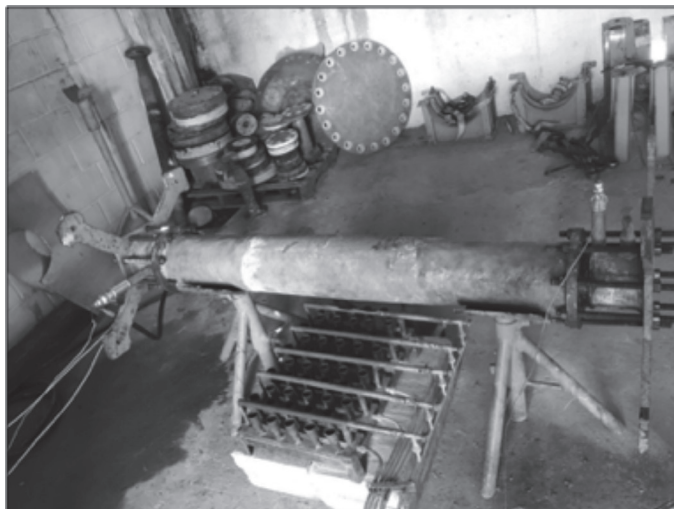
Fonte: Própria autora e Glastec Indústria de Plástico LTDA, 2018.

Inicialmente, foi verificado o funcionamento dos termopares e queimadores. Em seguida, foi feita a medição do fluxo de gás pelo peso do cilindro e a linha de fornecimento do gás.

Nas etapas seguintes, foi feita a instalação da amostra de acordo com as recomendações padrão (ASTM F1173, apêndice X2.7, X2.2) para um tubo de 6", como mostra a Figura 2, e para o tubo de 32", conforme a Figura 3. Acima dos bocais dos queimadores, coloca-se o tubo no suporte apropriado para o teste e conectam-se os termopares, dois nas extremidades do tubo e os outros na superfície mais externa do tubo, próximos da chama.

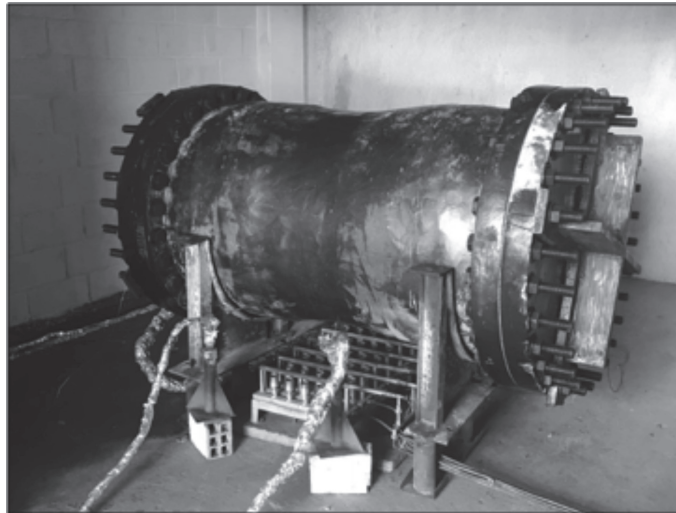
Após a montagem, iniciou-se o teste e a marcação do tempo decorrido. Para a contagem do tempo, usou-se um cronômetro e os valores indicados foram registrados na balança, a cada 5 minutos. A medição, nesse intervalo de tempo, foi para verificar e controlar o fluxo de gás. Registrou-se também a temperatura dos termopares, a temperatura da água e a pressão aplicada à amostra, com leituras a cada 5 minutos. A amostra foi exposta as chamas por 30 minutos, conforme estabelece a norma (ASTM F1173, Apêndice X2.7.6.5).

Figura 2 - Preparação para teste de chama do tubo de 6".



Fonte: Própria autora, 2018.

Figura 3 - Preparação para teste de chama do tubo de 32".



Fonte: Própria autora, 2018.

2.2. Aplicação da Norma ASTM F 1173

A Norma ASTM F 1173 estabelece especificações para a resina termoendurecida reforçada, usadas em sistemas de tubulação com tubos de diâmetro nominal de 1 a 48 polegadas, que devem ser usados para todos os fluidos aprovados com jurisdição em sistemas de tubulações marinhas.

O critério de aceitação diz que a tubulação será considerada aprovada no teste se o desempenho atender aos critérios definidos pela autoridade competente em matéria de integridade e duração. Os critérios de aprovação são descritos a seguir:

Integridade A: Sem vazamento durante ou após o teste de fogo.

Integridade B: Nenhum vazamento durante o teste de fogo, exceto uma ligeira quantidade é aceitável. Capaz de manter a pressão nominal por um mínimo de 15 minutos com uma taxa de vazamento de 0,05 gal/min (0,20 L/min) após o resfriamento.

Integridade C: Mínimo ou nenhum vazamento (0,13 gal/min) (0,50 L/min)) durante o teste de fogo. Capaz de manter a classificação de pressão com uma taxa de fuga especificada pelo cliente após o resfriamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a norma ASTM F1173 - 1: 2006, a atribuição de um tubo como resistente ao fogo inclui a verificação de sua capacidade de resistência ao fogo e a reação subsequente após o disparo. Também, de acordo com este padrão, é necessária a verificação do calor liberado durante a combustão, pelos queimadores, e a capacidade de suportar a pressão nominal após o tubo de queima. Vale ressaltar que todos os testes foram realizados com o tubo cheio de água.

Para a análise dos resultados foram utilizados critérios, conforme detalhado em ASTM F 1173, e no conjunto dos critérios de aprovação (Integridade A, B ou C).

Resultados dos Testes de Chama e Hidrostático

Os resultados de todos os corpos de prova aprovados nos testes de chama e hidrostático são mostrados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Resultados dos testes de chama e hidrostático.

Amostras	Temperatura inicial da água (°C)	Pressão (kgf/cm ²)	Calor liberado (kW)	Presença de vazamento durante teste de chama	Aprovado
CP 02-200717-AL	26	3,50	67,10	Não	Sim – Integridade A
CP 03-200717-AL	35	3,50	67,10	Não	Sim – Integridade A
CP 01-080318-AL	30	3,50	103,30	Não	Sim – Integridade A
CP 03-090318-AL	30	3,50	69,10	Não	Sim – Integridade A
CP 06-140318-AL	26	3,50	67,12	Não	Sim – Integridade A
CP 10/17	28	3,50	65,56	Não	Sim – Integridade B
CP 16/17	25	3,50	132,38	Não	Sim – Integridade A

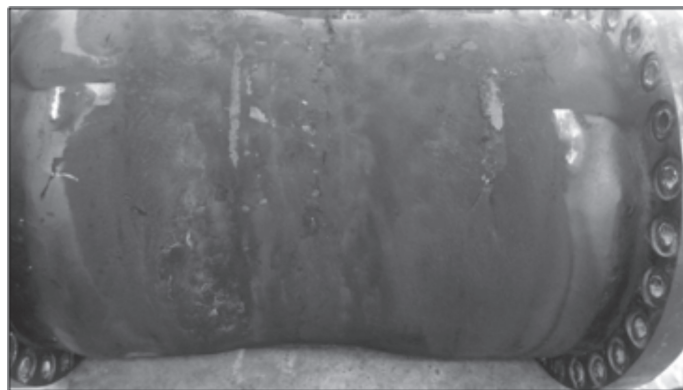
Fonte: Própria autora, 2018.

Conforme Tabela 3, as condições dos testes foram realizadas de acordo com a norma ASTM F1173 - 1: 2006, com pressão inicial do tubo de 3,50 kgf/cm². A pressão não variou durante as medições, realizadas a cada 5 minutos. Apesar da temperatura da água ter oscilado ao longo dos testes, elas estão de acordo com a norma especificada. Além disso, essas variações não influenciaram no resultado do teste, portanto foram satisfatórias.

Durante os testes e também quando o tubo foi submetido à pressão de teste nenhum vazamento foi observado, conforme exige a norma, sendo, portanto, apropriado para trabalhar em ambientes suscetíveis a incêndio e capaz de suportar pressões depois de queimado, como acontece na indústria *offshore*.

A Figura 4 apresenta o tubo de PRFV após o teste de resistência ao fogo.

Figura 4 - Tubo de PRFV após o teste hidrostático



Fonte: Própria autora, 2018.

Com o exposto, todos os corpos de prova foram aprovados nos testes, segundo os requisitos da norma ASTM F 1173. Todos os tubos tiveram a temperatura inicial da água acima de 15 °C, apresentaram uma pressão constante ao longo do teste de chama, em torno de 3,50 kgf/cm², apenas dois tubos tiveram variação dessa pressão durante o teste, chegando a 4 kgf/cm², porém essa pressão foi reajustada através da bomba. Em todos os testes, o calor liberado foi acima de 65 kW, assim como exige a norma e não ocorreu presença de vazamento durante o teste de chama, apenas ocorreu uma pequena exsudação no tubo de 3 polegadas após o teste de chama, sendo este tubo aprovado pela Integridade B, e os demais tubos aprovados pela Integridade A.

Conclusões

A montagem dos equipamentos foi coerente com as especificações da norma, assim como a temperatura da água não foi inferior a 59°F (15°C) no início do teste, de acordo com o anexo X2.7.5.6 da norma ASTM F 1173.

Todos os tubos passaram nos testes de queima e hidrostático, atendendo aos requisitos da norma. As amostras CP 02-200717-AL, CP 03-200717, CP 10/17, CP 16/17, CP 01-080318-AL, CP 03-090318-AL e CP 06-140318-AL atendem aos requisitos de integridade A do teste de resistência ao fogo - ASTM F 1173 [nível L3 - Resolução IMO A 753 (18)]. Devido ao fato de não ter ocorrido vazamentos no corpo de prova, durante e após o ensaio, com o corpo mantendo a mesma pressão do ensaio, o tubo pode ser aceito e classificado como Integridade A, ou seja, sem vazamento durante ou após o teste de fogo.

Entretanto, no teste com o tubo CP 10/17 de 3", após o teste de queima ocorreu uma exsudação mínima. Porém, como a pressão interna do corpo de prova foi man-

tida praticamente constante, em todo o teste, e a exsudação não foi suficiente para medir o volume de água que vazou, pode-se admitir que a vazão da água na exsudação, após o teste, foi inferior ao permitido, portanto o tubo CP 10/17 pode ser aceito nos requisitos de Integridade B.

Por fim, apesar da presença de erros ao longo dos testes, como defeito em alguns termopares, os tubos reforçados com o TECPIPE, ou seja, tubos reforçados com material compósito, foram aprovados, mostrando serem eficientes para utilização na indústria *offshore* e comprovando as propriedades favoráveis desse tipo de material. Portanto, os tubos receberam a certificação "*Type Approval*" da ABS, e assim, os objetivos desse trabalho foram alcançados, o que contribui de algum modo para a difusão de conhecimento para uma ampla gama de profissionais que desenvolvem atividades na área petrolífera.

REFERÊNCIAS

ASTM F 1173. **Standard Specification for Thermosetting Resin Fiberglass Pipe Systems to Be Used for Marine Applications**. Estados Unidos, 2006.

AWWA, **Fiberglass Pipe Design Manual** – M45. USA, American Water Works Association, 1999.

ELLYN, F., MASER, R. "**Environmental effects on the mechanical properties of glass-fiber epoxy composite tubular specimens**". In: Composites Science and Technology, vol 64, pp. 1863-1874, 2004.

JOHNSON, D.B., BALDWIN, D.D., LO, K.H. "**Composite Production Riser Development and Qualification Test Results**". In: Proceedings of the Workshop on Composite Materials for Offshore Operation, pp. 109-123, University of Houston. Texas, USA, 2001.

LOPES, F. C. **O conflito entre a Exploração Offshore de Petróleo e a Atividade Pesqueira Artesanal**. Rio de Janeiro: Monografia de bacharelado, UFRJ, 2004.

NBR 15921-2:2011 - Indústrias de petróleo e gás natural - Tubulação de compósito - Parte 2: Qualificação e fabricação. Brasil, 2011.

Normas ASME. Disponível em: <<https://www.asme.org/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

SALAMA, M. M., STJERN, G., STORHAUG, T., SPENCER, B., ECHTERMEYER A. "**The First Offshore Field Installation for a Composite Riser Joint**". In: Offshore Technology Conference 14018, 2002.

SOUSA, S. R. M., PINA FILHO, A. C., DUTRA, M. S. "**Estudo de Falhas em Risers Fabricados em Material Compósito**". Campinas: 4º PDPETRO, 2007.

TECPIPE. Disponível em:< <http://www.tecfibra.com.br/servico/tecpipe/>>. Acesso em: 08 out. 2017.

TESTES. Disponível em:< <http://www.glastec.com.br/produto/composite-oil-gas-piping/>>. Acesso em: 21 set. 2017.

Data do recebimento: 20 de julho de 2018

Data da avaliação: 19 de novembro de 2018

Data de aceite: 15 de dezembro de 2018

1 Discente de Curso de Engenharia de Petróleo do Centro Universitário Tiradentes – UNIT.

E-mail: jessica_marques1@hotmail.com

2 Docente do Curso de Engenharia de Petróleo do Centro Universitário Tiradentes – UNIT.

E-mail: vanessa.limeira@gmail.com