

DUTOS DE RESINA EPÓXI REFORÇADOS POR FIBRAS DE VIDRO DE EMPREGO OFF-SHORE¹

Gelson Azevedo da Silva²
Victor Pessanha Tamy²
Eliana Rosa da Silva Dias²
Eduardo Atem de Carvalho³

Resumo

Este trabalho fez uma exploração preliminar de algumas propriedades mecânicas encontradas em um tubo fabricado com resina epóxi e reforçado com fibra de vidro (PRFV) empregado em plataformas e unidades FPSO. Estes tubos, embora tenham sido aprovados nos testes de qualidade, apresentaram flexão excessiva e problemas de adesão. Foram então preparados corpos de prova para testes de tração, que também foram usados em conjunto com extensômetros elétricos para se determinar Módulo de Elasticidade Equivalente (E^*), Coeficiente de Poisson Equivalente (ν^*) do material compósito estudado. Resultados preliminares indicam que, a temperatura ambiente, o material apresenta de fato as propriedades esperadas.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas; PRFV; Extensometria elétrica.

MECHANICAL PROPERTIES DETERMINATION FOR FIBERGLASS REINFORCED EPOXY RESIN PIPES USED IN OFF-SHORE ENVIRONMENTS

Abstract

This work is a preliminary exploration about some mechanical properties found in fiberglass reinforced epoxy-made pipes used in platforms and FPSO units. These pipes, although considered fit by quality control, present excessive bending e adhesion problems. Specimens were prepared for tensile testing, which were also used in conjunction with strain gages for Equivalent Elastic Modulus (E^*) and Equivalent Poisson's Ratio (ν^*) determination of the composite material properties. Preliminary results indicate that at room temperature, the material indeed presents the expected properties.

Key words: Mechanical properties; FREP; Electrical extensometry

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Aluno de Graduação, LAMAV/CCT/UENF.*

³ *Eng.º Mecânico, M.Sc., Ph.D., Professor Associado, LAMAV/CCT/UENF.*

⁴ *Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, 28013-600, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darci Ribeiro (UENF), Centro de Ciência e Tecnologia (CCT), Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV).*

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Somente na Bacia de Campos existem aproximadamente 3.900 quilômetros de tubos submarinos.^[1] Estes tubos são feitos de aço e são relativamente pesado, o que dificulta o transporte para o local de aplicação e aumenta o peso na plataforma. Também apresenta corrosão com grande frequência, pois o aço é sujeito a este fenômeno.

Pensando na solução dos problemas e com uma visão de otimização da linha de produção de petróleo, começou a se pesquisar um material para as tubulações que fosse mais leve, para um melhor manuseio e que não sofresse corrosão, sem perder sua resistência específica, que é uma propriedade importante para tal aplicação.^[1]

Para o escoamento das águas de serviço foi selecionado um tubo de resina epóxi reforçado com fibra de vidro, pois a fibra de vidro apresenta alta disponibilidade e pode ser fabricado economicamente, podendo ser empregado em uma ampla variedade de técnicas de fabricação de materiais compósito.^[2] O compósito pode ser fabricado da seguinte maneira: As fibras de vidro quando estiradas são revestidas com uma fina camada de uma substância que irá proteger a superfície da fibra contra danos indesejáveis, depois se retirar a capa antes da fabricação do compósito, sendo substituída por um agente de acoplamento, para promover uma melhor interação da fibra com a matriz.^[2]

Este tubo compósito tem um peso relativamente baixo, aumentando a eficiência no transporte, pois o mesmo fica mais rápido e tem uma grande economia de combustível, além de beneficiar o armazenamento do petróleo, pois, esses tubos são mais leves, deixando a plataforma mais leve e quanto menos peso na plataforma, maior quantidade de petróleo ela poderá armazenar. Mesmo atendendo várias demandas da indústria petrolífera, este tipo de compósito está teoricamente limitado a temperaturas abaixo de 200°C, já na prática o tubo desenvolvido teve um desempenho inferior, mas este problema pode ser teoricamente resolvido com um acréscimo de sílica de alta pureza fundida.^[2]

O material é conduzido pelo tubo a uma temperatura ligeiramente abaixo de 100°C, ou seja, uma temperatura teoricamente suportada pelo tubo, porém não é isso que ocorre na prática, pois há uma flexão excessiva do tubo sem causa identificada de imediato.

Problemas de adesão e vazamento em flange^[3] foram modelados em elementos finitos, mas não tratam do corpo (*bulk*) do material e sim das partes que sofrem adesão. Cabe então um estudo preliminar, de natureza experimental, para se avaliar alguns parâmetros de interesse.^[4]

2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

2.1 Relaxação e Fluência de Materiais

Teste como Fluência é de interesse para o conhecimento de deformação permanente que ocorrem sob condição de tensão bem como o da Relaxação. Para diferenciar Fluência de Relaxação, tem-se que o teste de Fluência é um teste onde o corpo de prova é submetido a uma tensão constante, enquanto a deformação é monitorada como função do tempo. Esses testes são fáceis e baratos de se fazer. Na prática, tudo que se faz é aplicar uma força na extremidade do corpo de prova, geralmente usando um braço de alavanca, enquanto se mede a deformação apropriada. As máquinas de Fluência podem ser compradas ou fabricadas a um custo razoável [6].

O teste de relaxação de tensão é aquele onde o corpo de prova é submetido a uma deformação constante, enquanto a tensão é monitorada como função do tempo. Embora esse teste seja fácil de fazer com materiais com módulo de elasticidade baixo é infelizmente caro para fazer com materiais com módulo na faixa de GPa ou mais. O problema é manter o corpo de prova a uma deformação constante. Devido a escorregamento no corpo de prova ou reajustamento nas garras do corpo de prova, particularmente em tensão, geralmente se usa máquina de ensaio servocontroladas para manter a deformação constante. Desta forma, os testes de relaxação e tensão conduzidos num compósito são geralmente feitos usando máquinas servohidráulicas [6]

2.2 Módulo de Elasticidade Equivalente e Coeficiente de Poisson Equivalente

O Módulo de Elasticidade Equivalente (E^*) é a razão entre a tensão e a deformação quando a deformação é totalmente elástica é também vista como a medida de rigidez de um material [2].

O Coeficiente de Poisson Equivalente (ν^*) é obtido através da razão negativa entre a deformação transversal e a deformação longitudinal que resulta da aplicação de uma tensão axial [2].

3 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA

Antes dos testes com as amostra foi feito calibração da máquina para saber o quanto o sistema cede sobre si mesmo, ou seja, o chamado “compliance” do sistema, pois assim pode-se obter o valor real de deformação das amostras no teste de tração, subtraindo os valores obtidos com os valores de calibração.

Abaixo está desenhada a Figura 1, que representa um gráfico de calibração da máquina, nele pode-se notar que o sistema sofre uma acomodação em um pequeno intervalo, antes de começar a tracionar a amostra, essa acomodação pode ser notada até 2.5mm de extensão, sem valor significativo para carga aplicada.

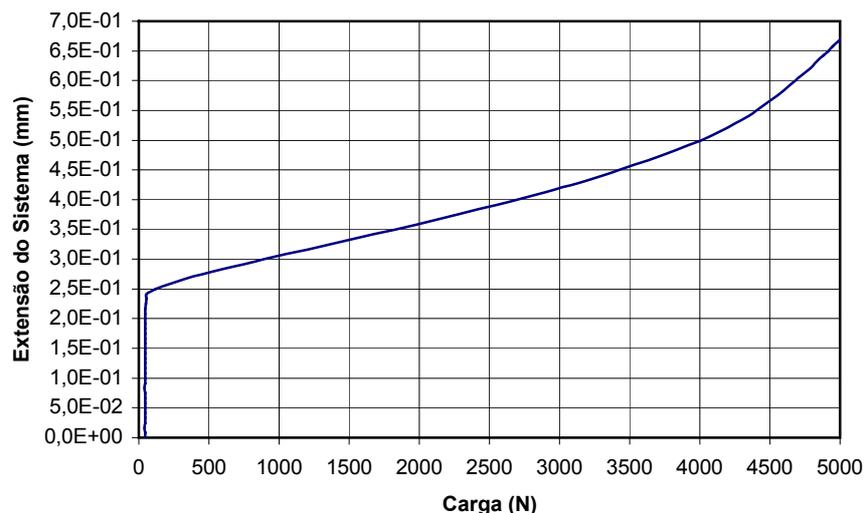


Figura 1 – Acoplamento do sistema de calibração de tração

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado na máquina universal de ensaios (INSTRON) de acionamento mecânico (parafusos), com capacidade de carga máxima de 100 KN, empregando duas garras auto travantes, o ensaio foi realizado a uma velocidade de 1 mm/min que foi pré-determinada no software de controle da INSTRON, após a determinar a velocidade, a amostra foi presa nas garras de modo que não escorregasse durante o ensaio, para iniciar o teste.

4.2 Extensômetros Coláveis de Resistência Elétrica (Strain Gages)

Strain Gages medem a deformação baseada no princípio que quanto mais fino é um fio, mais elevada sua resistência. Em outras palavras, um fio com diâmetro menor apresenta uma resistência mais elevada do que um fio com um diâmetro maior. A mudança na resistência comparada à mudança na voltagem apresenta um comportamento bem linear. Se uma corrente constante for fornecida a um Strain Gage e a força aplicada ao mesmo variar, a resistência do Strain Gage variará e a mudança na voltagem medida será proporcional a esta mudança na força [6].

A resistência elétrica de um Strain Gage é dada pela seguinte fórmula [5]:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

A extensometria elétrica empregando o chamado Strain Gage é bastante útil na determinação de propriedades mecânicas em materiais compósitos, uma vez que seus elementos podem ser facilmente alinhados em qualquer direção de interesse [6]. É feita uma conversão com base na seguinte fórmula:

$$\frac{\Delta R}{R} = S_g \varepsilon \quad (2)$$

Onde: R é a resistência do Strain Gage, (comercialmente encontrado nos)

valores de (120, 350, 500 e 1000 Ohm).

ΔR é o quanto R variou devido as deformações

S_g é fator de correção do Strain Gage (normalmente de ordem 2)

ε é Deformação a qual o fio submetido

4.3 Preparação das Amostras

A partir de um tubo fabricado pela AMERON de diâmetro nominal de 400 mm e espessura de parede de 10 mm, fornecidos pela Petrobras, foram preparadas 5 amostras com as seguintes dimensões, 16 mm de largura. 7 mm de espessura e 138 mm de comprimento, com o objetivo de serem utilizadas no ensaio desenvolvido neste trabalho. As amostras foram cortadas de forma manual, com um arco de serra, adequado para a sua fixação na INSTRON, como ilustrado na Figura 2, onde se pode observar a amostra presa nas garras da máquina. Para serem feitos os testes

em cada uma das amostras foi feita a limpeza de superfície visando à colagem de um Strain-Gage do tipo Roseta dupla, 90°. A limpeza de superfície consiste em primeiro lugar, no lixamento da superfície (lixa com granulometria 320) e aplicação de saponáceo para a remoção de partículas e gorduras, após prende-se o sensor em uma fita adesiva transparente, desenha-se os eixos de referência na superfície do corpo de prova, aplica-se uma camada fina de cola Loctite 496 na superfície do corpo de prova, posiciona-se o extensômetro sobre a cola e pressiona-se por alguns segundos [6], após esses procedimentos testam-se os terminais do extensômetro com um multímetro, este indicava 120Ω, significando que o processo de colagem não o danificou. Em seguida, soldam-se os terminais de 3 fios, sendo 2 juntos em um terminal. Cada Strain Gage é ligado a um terminal da P-3, onde são feitos todos os ajustes necessários e balanceamento. Na Figura 3, pode-se observar o sensor colado na amostra. Após a fixação, o Strain Gage foi conectado no dispositivo de condicionamento de sinais elétricos P-3 da Vishay, que pode ser visto na Figura 4, que é responsável por amplificar, filtrar e condicionar os sinais procedentes do Strain Gage. Na Figura 5 pode ser observado o aparato completo utilizado no ensaio. Após a preparação das amostras, antes do teste ser iniciado na INSTRON, alguns parâmetros foram ajustados e calibrados para um melhor desempenho da máquina. Foi também fixado um deslocamento conhecido para a execução do teste, e após atingir esse deslocamento à máquina parou de se mover e passou a registrar a variação da carga ao longo do tempo.



Figura 2 - Amostra presa nas garras da máquina.

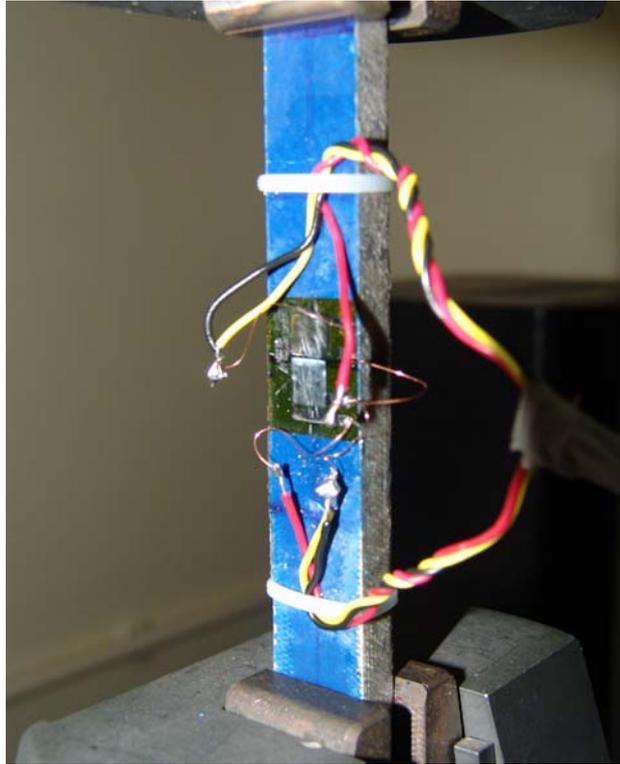


Figura 3 - Observa-se na amostra o sensor e os cabos conectados.



Figura 4 – Dispositivo de condicionamento de sinal elétrico (P-3 da VISHAY).



Figura 5 - Aparato Completo

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Coeficiente de Poisson Equivalente (ν^*)

Na Figura 6 observam-se os resultados obtidos para ν^* , onde se nota a tendência a um valor constante para o coeficiente a partir de um certo ponto, pois se tem uma variação inicial abaixo de vinte medidas que não tem significado físico, uma vez que inicialmente o nível de deformações presente não é capaz de causar alterações grandes o suficiente nos grades dos Strain Gage para permitir uma leitura correta e portanto, sujeitos à forte influência de fatores causadores de ruídos elétricos. As medidas foram feitas à taxa de 1 medida a cada segundo durante 117 segundos, e foi obtido o valor médio de 0.377, excluindo-se as medidas iniciais, este valor representa o efeito conjunto das fibras e resina. O valor da literatura é 0.19 [2]

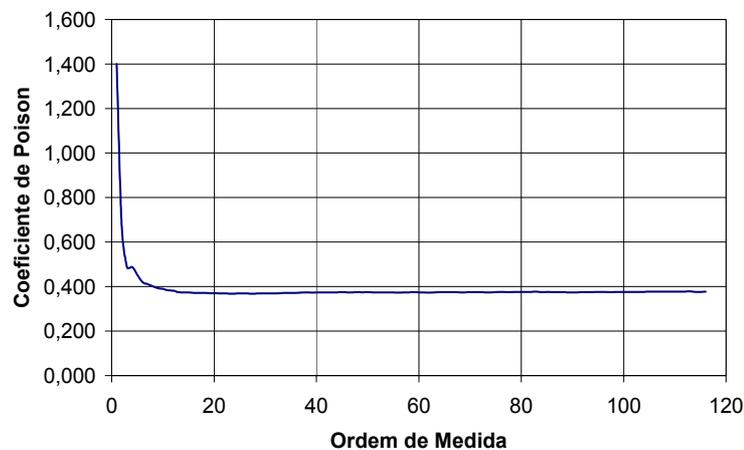


Figura 6 – Coeficiente de Poisson, nota-se estabilidade nos valores após vinte amostragens.

5.2 Módulo de Elasticidade Equivalente (E^*)

Na estimativa do Módulo de elasticidade visto na Figura 7, foram ignorados os valores antes de 25 medições devido à acomodação do sistema e com isso é observado praticamente um valor linear na faixa entre 15 e 20 GPa para uma tensão variável, notando uma tendência a um valor médio de 16.2 GPa para o Módulo, onde foi medido com o Strain Gage fixado na direção longitudinal do tubo e não das fibras, assim o valor não condiz nem com a direção longitudinal, nem transversal das fibras, portanto observa-se um valor para o Módulo de elasticidade do compósito entre os valores teóricos do Módulo na direção longitudinal e transversal do compósito, que são respectivamente 45 GPa e 12 GPa [2].

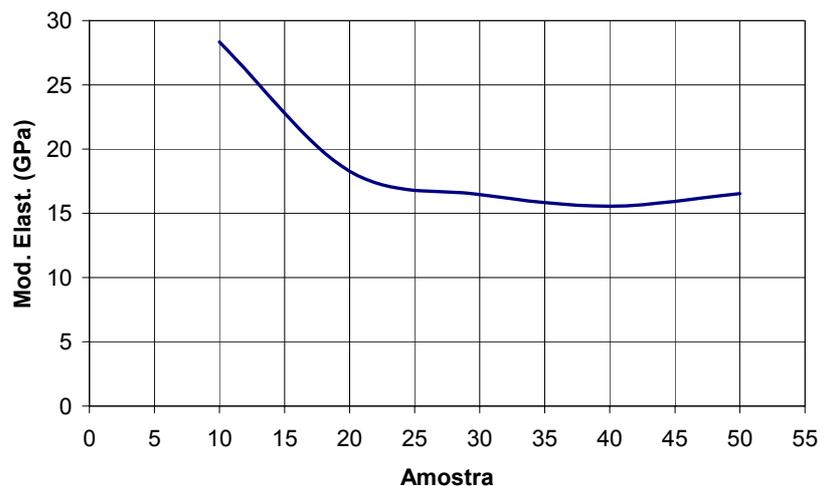


Figura 7 – Gráfico do módulo de elasticidade em relação à tensão normal.

5.3 Módulo de Relaxação

O teste de relaxação foi realizado a uma temperatura de 24°C com umidade relativa do ar em 64%, o teste foi realizado em cerca de 6000 segundos.

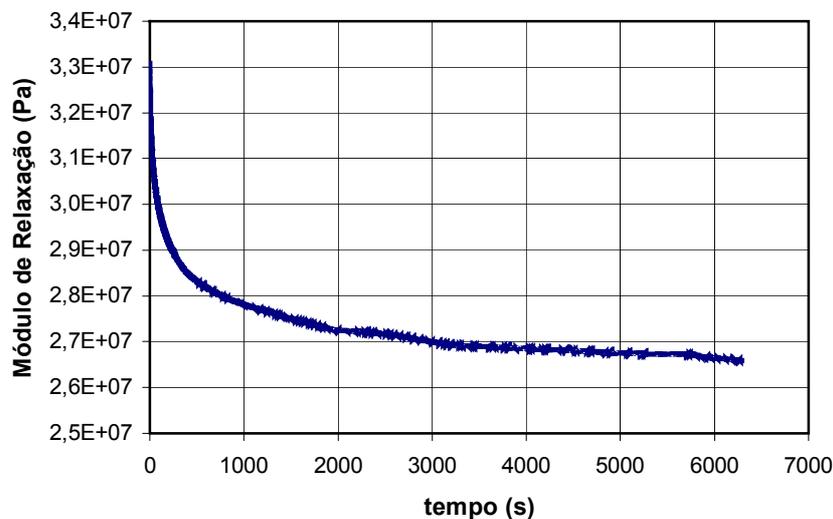


Figura 8 – Módulo de Relaxação

7 CONCLUSÕES

- O uso de extensômetros elétricos permitiu uma estimativa rápida de diversas propriedades mecânicas, ainda que equivalentes, uma vez que os problemas estudados se apresentam de maneira combinada.
- O valor do Modulo de Elasticidade equivalente situou-se como esperado, entre os valores de literatura para o material estudado quando medidos longitudinalmente e transversalmente, porém estes resultados não devem ser considerados como valores absolutos uma vez que não se verificou a fração volumétrica das fibras, a direção das mesmas e o intercalamento equivalente.
- O valor estimado para o Coeficiente de Poisson foi algo superior ao esperado. Suspeita-se que devido ao corpo de prova estudada não representar a geometria fechada do tubo, era de se esperar esta grande diferença entre o valor medido e o prescrito pela literatura.
- Os valores das propriedades aqui apresentados correspondem ao comportamento das mesmas na temperatura ambiente. Nesta temperatura o comportamento do material aparenta estar de acordo com as especificações previstas pelo fabricante.
- Como não foi possível repetir os testes realizados em outras faixas de temperatura não é possível afirmar categoricamente que a temperatura de trabalho seja o fator dominante na falha prematura do compósito.
- A temperatura de teste não correspondeu à de emprego real, desta forma os resultados obtidos devem ser transportados para a temperatura de trabalho empregando-se algum método apropriado.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Petrobras UN-BC, a FAPERJ e a TECNORTE/FENORTE, pelo suporte continuado.

REFERÊNCIAS

- 1 Bacia de Campos. A maior reserva de petróleo do Brasil. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/Petrobras/português/plataforma/baciacampos.htm>. Acesso em 14/02/2007.
- 2 WILLIAM D. CALLISTER, JR. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 5ª edição ano 2002
- 3 H STRADA, I.D. PARSONS. Strength and leakage finite element analysis of a GFRP flange joint **International Journal of PressureVessels and Piping** **76 (1999) 543-550**
- 4 ASTM. **Standard Specification for Thermosetting Resin Fiberglass Pipe Systems to Be Used for Marine Applications** F1173-01.ASTM INTERNATIONAL 2001.
- 5 DALLY, J.W., RILEY, W.F. **Experimental Stress Analysis**. 4th Edition. College House Enterprises, LLC 2005.
- 6 JENKINS, C.H., **Manual on Experimental Methods of Mechanical Testing of Composites**, S.E.M. Editor 1998.
- 7 http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero%20002/artigos/vencedores/area_engenharias/area_engenharias_01.htm. Acesso em 14/02/2007