

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

PVDF COMO MATERIAL PARA APLICAÇÃO EM LINERS: AVALIAÇÃO DE FLUÊNCIA E RELAXAÇÃO DE TENSÃO

AUTORES:

Jonas Raphael Caride Gomes¹, Marysilvia Ferreira da Costa^{1,2}, Ilson Paranhos Pasqualino³

INSTITUIÇÃO:

¹Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, UFRJ, ²Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, UFRJ, ³Programa de Engenharia Naval e Oceânica, COPPE, UFRJ

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

PVDF COMO MATERIAL PARA APLICAÇÃO EM LINERS: AVALIAÇÃO DE FLUÊNCIA E RELAXAÇÃO DE TENSÃO

Abstract

PVDF is high chemical resistance and low permeability polymer. Therefore it is an alternative to the manufacture of liners for revamp of transport pipelines. The installation process is crucial to the successful application of a liner, and the material should not suffer any critical damage that affects its performance. Thus, knowledge of material behavior in creep and stress relaxation becomes important because through these results, analytical and numerical models can be developed and improved for use in projects. In the first part of the work we've done some tests to define all the conditions of the relaxation experiments and we are now running these tests, in which we have already obtained some preliminary results.

Introdução

No país, a maior parte do petróleo, gás natural e derivados são transportados por dutos. Segundo o anuário estatístico da ANP do ano de 2010, a infra-estrutura dutoviária nacional em 2009 era composta de 569 dutos destinados à movimentação de petróleo, derivados, gás natural e outros produtos, somando quase 18.000 km de extensão e sendo distribuídos pela função e pelos produtos movimentados conforme tabela abaixo.

Produtos movimentados	Dutos em operação		
	Função	Quantidade	Extensão (km)
Total		569	17.796
Derivados	Transferência	304	1.099
	Transporte	98	4.792
Gás natural	Transferência	61	2.270
	Transporte	37	7.574
Petróleo	Transferência	32	1.985
Outros ¹	Transferência	32	36
	Transporte	5	40

Fonte: ANP/SCM, conforme a Portaria ANP nº 170/1998.

¹Inclui dutos para movimentação de etanol anidro, etanol hidratado, aguarrás e metanol, etano e propano de insumo para petroquímica, gasolina de pirólise e propileno de insumo para indústria petroquímica.

Tabela 1: Quantidade e extensão de dutos em operação no Brasil em 31/12/2009

Os dutos são, em geral, de aço e com o tempo de uso podem vir a apresentar problemas como corrosão interna e formação de depósitos que levam a perda de capacidade, vazamentos e até acidentes ambientais graves. O grau do dano depende do fluido transportado e das condições de operação da linha.

Existem diversas técnicas para recuperação das linhas de transporte, que são empregadas de acordo com o grau de dano, localização da linha, fluido transportado, etc. A inserção de dutos poliméricos como revestimento interno (*liners*) mostra-se como uma excelente alternativa quando o trecho a ser recuperado é longo ou quando a linha passa por regiões de acesso difícil ou escavações

complicadas, como em trechos urbanos. Essa técnica é ainda pouco empregada e vários desenvolvimentos ainda se fazem necessários para viabilizar o emprego da mesma, como a seleção do material mais adequado para a fabricação destes dutos e o detalhamento do comportamento deste material.

O polietileno é, em geral, o material utilizado nessa aplicação, devido ao seu baixo custo e fácil processamento. Entretanto, apresenta várias limitações como inchamento em fluidos apolares e alta taxa de permeação, que é compensada utilizando-se tubos de elevada espessura e válvulas de alívio ao longo de toda a linha. Com isso, diminui-se o diâmetro útil do duto hospedeiro e aumenta-se o custo operacional.

O poli(fluoreto de vinilideno), PVDF, aparece como alternativa ao polietileno por ser um material mais nobre, com elevada resistência química e baixa permeação. Com isso, é possível uma redução na espessura do *liner*, uma diminuição do número de válvulas de alívio e do custo de manutenção e um aumento da confiabilidade operacional da linha.

O processo de instalação do *liner* é crucial para o sucesso de sua aplicação. Existem diversos métodos de instalação entre eles o *U liner*, o *Cured-In-Place Pipe* e o *Sliplining* [1]. Independente do método escolhido, o material fica sujeito a diversos esforços mecânicos cujas deformações devem ser controladas para evitar danos permanentes ao material. Adicionalmente, em todos os métodos, o *liner* é inserido no tubo hospedeiro por uma extremidade e puxado pela outra, gerando esforços trativos. A ocorrência de deformações plásticas podem levar a problemas operacionais como o colapso do tubo polimérico. Dessa forma, o conhecimento do comportamento mecânico do material é fundamental para se controlar e prevenir a ocorrência de tais danos.

Materiais poliméricos apresentam comportamento mecânico intermediário ao elástico e ao viscoso, sendo denominados viscoelásticos. A contribuição elástica e viscosa para o comportamento mecânico do polímero depende da temperatura e da escala de tempo do experimento. O tempo é um fator muito importante para essa classe de materiais, razão porque tais materiais são também denominados dependentes do tempo (*time-dependent materials*) [2].

Nesse trabalho, o comportamento do PVDF será analisado por ensaios de relaxação que se caracteriza pelo decréscimo gradual da tensão quando o material está submetido a uma deformação constante no tempo e ensaio de fluência onde é observado o aumento da deformação quando a tensão é constante no tempo. Os ensaios de fluência e relaxação de tensão serão realizados variando-se a temperatura de ensaio, o valor inicial da tensão ou deformação, bem como a taxa com que o material é levado a este valor inicial. Sabe-se da literatura que, para polímeros, os mecanismos de deformação podem depender desta taxa inicial [3]. Com essas informações será possível avaliar as máximas deformações permitidas ao material durante sua aplicação.

Este estudo além de possibilitar um maior conhecimento do comportamento mecânico do PVDF para uso em *liners*, servirá como base de dados de entrada para validação de um modelo teórico para descrição do comportamento viscoelástico linear e não-linear que está sendo desenvolvido em colaboração com o Programa de Engenharia Naval e Oceânica, também da COPPE/UFRJ.

Metodologia

O material avaliado foi um copolímero PVDF/60512 comercial.

A etapa inicial consistiu no processamento do PVDF em corpos de prova de tração segundo a norma ASTM D638, tipo I (Figura 1), via moldagem por compressão, utilizando um molde de aço (Figura 2). Os *pellets* foram colocados na cavidade do molde, e este colocado entre duas placas de aço. O conjunto foi levado a uma estufa a temperatura de 150°C, onde permaneceu por 20 minutos para um pré-aquecimento. Em seguida, o conjunto é levado à prensa e submetido a uma pressão de 6 toneladas por 5 minutos, a 220°C. O conjunto então é removido e levado a uma outra prensa a 80°C, onde permanece por 10 minutos sob pressão de 6 toneladas e finalmente é resfriado ao ar. A placa com 5 corpos de prova é retirada do molde e esses são cortados e lixados levemente para obterem a forma final desejada e com o mínimo de irregularidades que possam atuar como concentradores de tensão.

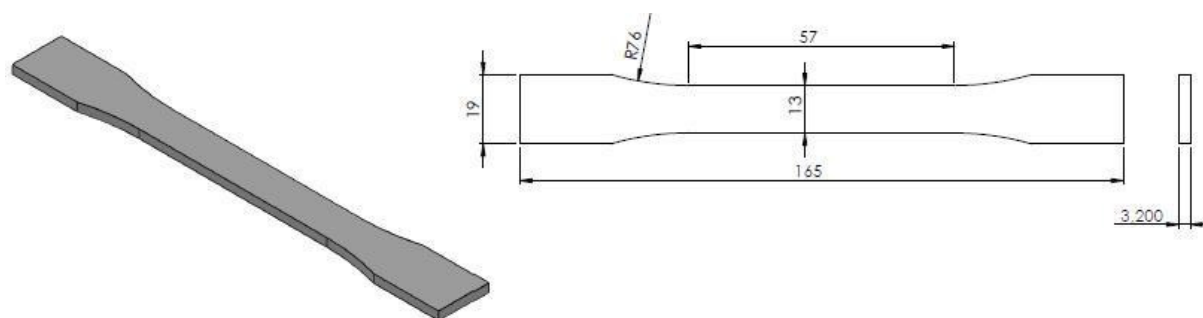


Figura 1: Desenho do corpo de prova de acordo com a norma ASTM D638. As dimensões estão em mm.



Figura 2: Molde utilizado para a prensagem

Foram realizados ensaios preliminares de relaxação de tensão para definir a velocidade adequada. Os corpos de prova foram testados em 40 °C, com deformações aproximadas de 5 e 10% e velocidades de carregamento de 1, 10 e 100 mm/min. A partir dos gráficos obtidos nessa etapa determinou-se a velocidade dos ensaios subsequentes.

Os ensaios de relaxação de tensão serão então realizados, em três temperaturas (25, 40 e 60°C) e três deformações (5, 10 e 20%) e velocidades de 1 mm/min.. A queda da tensão será acompanhada durante 4 horas. Para cada condição serão realizados 3 repetições. As deformações foram escolhidas por se encontrarem dentro da região de regime elástico e viscoelástico do material de acordo com os resultados de ensaios de tração feitos previamente.

Os ensaios de relaxação foram realizados em uma máquina universal de ensaios INSTRON 5567, com o uso de um forno acoplado a máquina e de um extensômetro, com espaçamento inicial de 25mm, que é colocado no centro do corpo de prova para acompanhar as deformações de forma mais precisa.

Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra os corpos de prova obtidos.

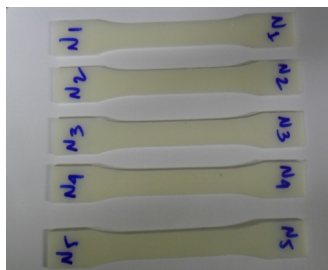


Figura 3: Corpos de prova obtidos e identificados

Para avaliar o efeito da velocidade de carregamento nos processos de relaxação e assim determinar a velocidade para os ensaios posteriores os corpos de prova foram deformados com diferentes velocidades do travessão. A Figura 4 (a e b) mostra os gráficos de tensão-deformação e relaxação de tensão, respectivamente, para uma deformação inicial de 5% e para as diferentes velocidades. A figura 5(a e b) mostra os gráficos de tensão-deformação e relaxação de tensão, respectivamente, para uma deformação inicial de 10% e para as diferentes velocidades.

A curva tensão-deformação foi obtida plotando-se os valores de tensão e deformação obtidos do ensaio de relaxação. Observa-se que para as velocidades mais baixas o material apresenta menor módulo, comportamento este característico do caráter viscoelástico do material. Para deformações até 10% o efeito viscoelástico é mais acentuado. Entretanto, para confirmar este efeito, novos ensaios a deformações ainda maiores serão realizados.

Os valores de deformações pré-estabelecidos não são obtidos no ensaio de forma precisa e repetitiva devido à dificuldade do controle de aplicação desta deformação inicial na máquina de ensaios. De uma forma geral os valores são próximos permitindo assim fazer uma análise comparativa.

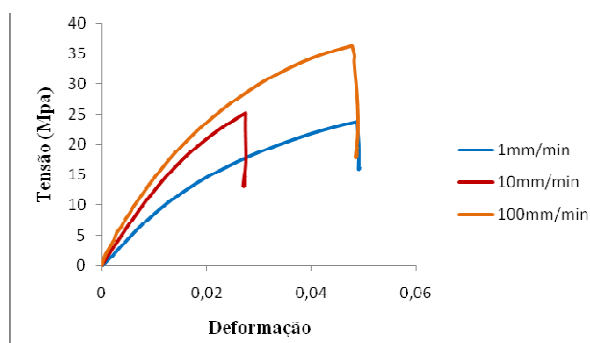


Figura 4 -a: Tensão *versus* deformação do PVDF

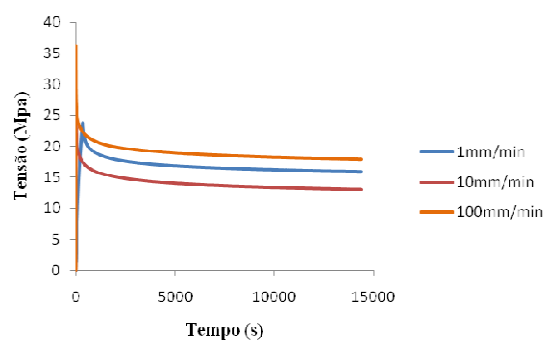
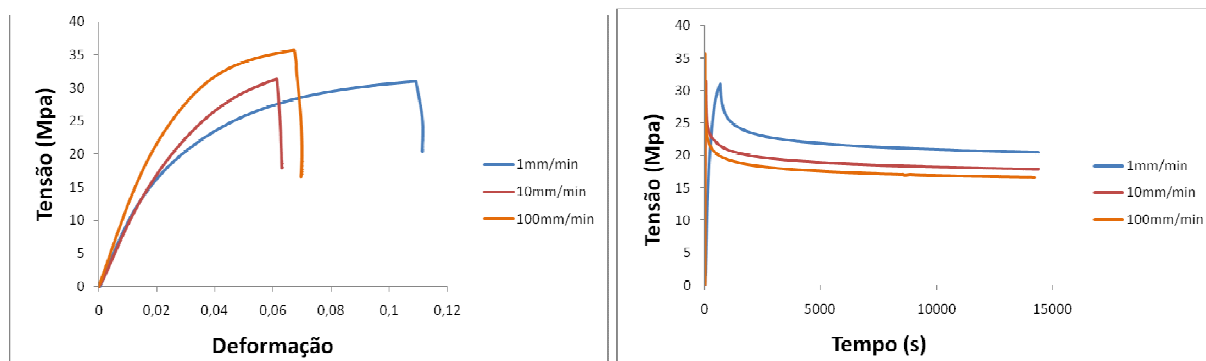


Figura 4 - b: Tensão *versus* tempo do PVDF

Figura 5 -a: Tensão *versus* deformação do PVDFFigura 5-b: Tensão *versus* tempo do PVDF

Analisando qualitativamente os gráficos observa-se, como esperado, que as maiores diferenças de comportamento ocorrem para velocidade de 100mm/min e 1mm/min e desta forma essas duas condições foram adotadas.

Já definido todas as condições de ensaio iniciamos os testes definitivos. As Figuras 6 e 7 mostra o comportamento do PVDF, obtido para o ensaio de relaxação com velocidade de 1mm/min, na temperatura de 40°C e com deformações aproximadas de 5% e 10%, respectivamente. Podemos também observar nos gráficos uma repetitividade nos ensaios.

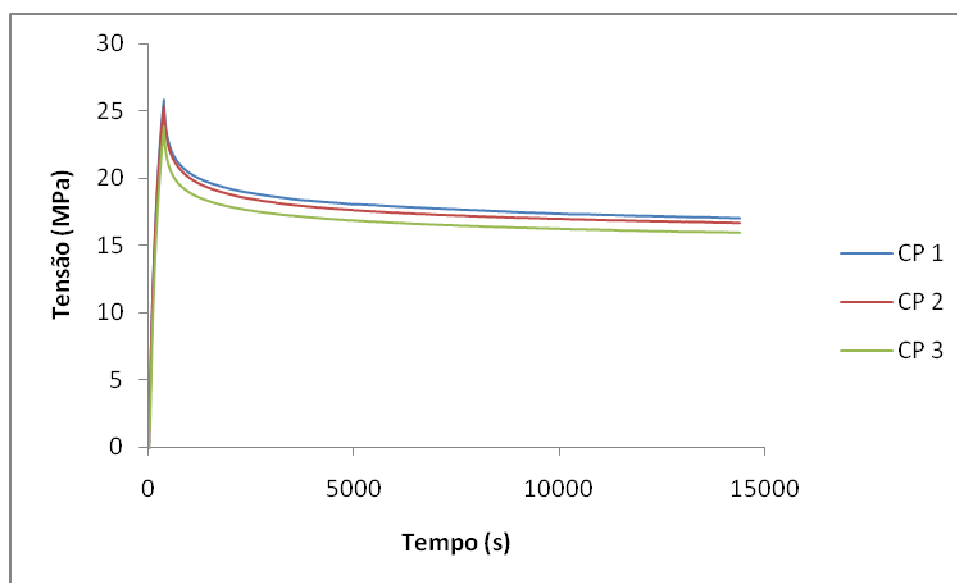


Figura 6: Gráfico tensão *versus* tempo do PVDF, obtido para o ensaio de relaxação com velocidade de 1mm/min, na temperatura de 40°C e com deformações aproximadas de 5% para três corpos de prova.

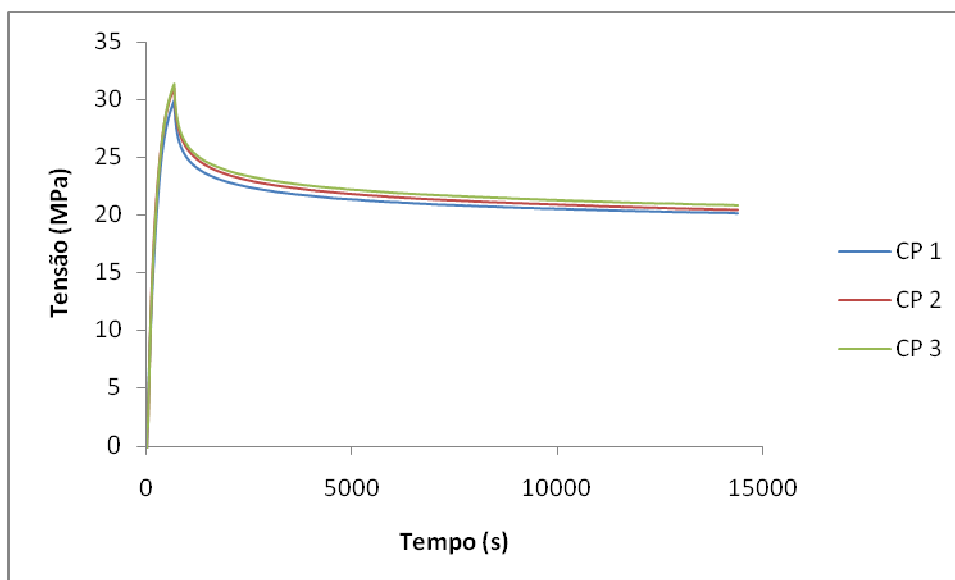


Figura 7: Gráfico tensão *versus* tempo do PVDF, obtido para o ensaio de relaxação com velocidade de 1mm/min, na temperatura de 40°C e com deformações aproximadas de 10% para três corpos de prova.

Conclusões

Os ensaios evidenciaram o comportamento viscoelástico do PVDF e está em fase de desenvolvimento. Os primeiros testes de relaxação já foram realizados, mas ainda são muito preliminares para tirarmos conclusões definitivas. Terminados todos os ensaios de relaxação, daremos início aos de fluência e então dessa forma analisaremos todo o comportamento do material, de forma a caracterizá-lo de forma bem minuciosa para as condições em que é submetido como *liner*.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP –, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – e do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT por meio do Programa de Recursos Humanos número 35 da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH35-ANP/MCT.

Referências Bibliográficas

- [1] Bakeer, R.M., Guice, L.K., Sever, V.F., Boyd, G.R., “Fluid migration into lined pipelines”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v.20, pp. 452-462, 2005.
- [2] L.J.Findley, K. Onaran in *Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials*, Dover Publications, Inc., New York, 1989.
- [3] S.W.Bradeley, W.L. Bradley, P.M. Pucket, “On the Variation of Compliance Measurements in Polymeric Solids”, in *Limitations of Test Methods for Plastics*, ASTM STP 1369, J.S. Peraro, Ed., American Society for Tensting and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.