

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



TÍTULO DO TRABALHO:

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS VISCOPLÁSTICOS DO POLIFLUORETO DE VINILIDENO PARA O DESENVOLVIMENTO DE MODELO NUMÉRICO

AUTORES:

Viviane Gonzalez^{1*}, Ilson Paranhos Pasqualino², Marysilvia Ferreira da Costa³

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro -RJ – Programa de Engenharia Oceânica e Naval ^{1,2} – Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais³.

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS VISCOPLÁSTICOS DO POLIFLUORETO DE VINILIDENO PARA O DESENVOLVIMENTO DE MODELO NUMÉRICO

Abstract

Polyvinylidene fluoride (PVDF) is a thermoplastic of great potential to structural applications, such as internal pressure barriers of flexible risers used in offshore petroleum industry and also for lining of corroded onshore oil pipes. The time-dependent properties of PVDF are still a subject of concern when higher temperatures are considered. Mechanical properties of polymers are strongly influenced by strain, temperature and time or frequency, thus it is important to study the viscoplastic behavior to assess the response of a polymeric structure in structural engineering applications. The aim of this study is to obtain viscoplastic parameters through tensile and relaxation tests at 25, 40 and 60 °C and strain rates from 10^{-5} to 10^{-1} s^{-1} . The relaxation tests were made at 25, 40 and 60°C for initial strains ranging from 3 to 22%. Elastic-plastic parameters have been obtained through time independent stress-strain curve fit with the aid of Tvergaard equation. Viscoplastic parameters of Norton Hoff model were defined through the tensile tests at different strain rates. These results will be used in a future development of a numerical model to simulate the viscoplastic behavior of this polymer through FE models.

Introdução

A utilização de materiais poliméricos como componentes estruturais de sistemas mecânicos vem crescendo significativamente nos últimos anos. Neste caso, esses materiais estão sujeitos a carregamentos mecânicos e térmicos, que em muitos casos, podem estar próximos do limite de resistência dos materiais utilizados. O Polifluoreto de Vinilideno (PVDF) em função de sua aplicabilidade para temperaturas de até 110 °C tem sido bastante empregado na indústria de petróleo.

O projeto de sistemas mecânicos utilizando polímeros como o PVDF demanda, em muitos casos, o emprego de modelos computacionais que devem ser definidos a partir da caracterização mecânica desses materiais. Tal caracterização se resume na obtenção do modelo constitutivo, que define as relações entre tensão e deformação para as condições de carregamento definidas.

Os polímeros são conhecidos por apresentar comportamento mecânico dependente do tempo de aplicação de uma força (*time-dependent materials*). Esses fenômenos estão associados à combinação dos efeitos elástico, plástico e viscoso, podendo ser representados por diversos modelos reológicos cujo comportamento é função do arranjo de elementos básicos [1].

Uma das ferramentas utilizadas para o estudo do comportamento mecânico de estruturas para projetos de engenharia é a simulação numérica estrutural. O estudo do comportamento viscoplástico pode ser feito em programas de elementos finitos, a partir dos parâmetros que definem o comportamento dependente do tempo do material. Desta maneira, pode-se calibrar um modelo reológico específico que melhor represente a resposta do material quando submetido a um esforço mecânico e/ou térmico.

Como ponto de partida do estudo, optou-se pela calibração de um modelo disponível em software de elementos finitos (ABAQUS) para a simulação do comportamento de relaxação de PVDF. Os parâmetros do modelo viscoplástico de Norton-Hoff foram obtidos através de ensaios de tração e relaxação em diferentes temperaturas e taxas de deformação. Esses parâmetros serão utilizados para calibrar o modelo viscoplástico (two-layer) disponível na biblioteca de modelos constitutivos do ABAQUS [2, 3].

Metodologia

Utilizou-se o PVDF copolímero (VF2-CTFE) SOLEF 60512, fabricado e comercializado por Solvay Solexis. O material foi recebido na forma de *pellets* e processado através de compressão em molde. Para os ensaios de tração e relaxação foram utilizados corpos de prova do tipo gravata com dimensões aproximadas de 3,0 x 13 x 150 mm.

Os ensaios de tração e relaxação foram feitos em máquina universal Instron, com câmara térmica para os ensaios feitos para 25, 40 e 60 °C. As medidas de deformação foram feitas através de um vídeo extensômetro.

As taxas de deformação dos ensaios de tração foram de $1.46 \cdot 10^{-5}$ até $1.46 \cdot 10^{-1} \text{ s}^{-1}$. A taxa de deformação utilizada para os ensaios de relaxação foi de $2.92 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e deformações iniciais variando de 3 até 22%.

Os resultados de relaxação nas diferentes condições citadas acima foram utilizados para a determinação de curva elasto-plástica para o PVDF a 25, 40 e 60 °C. Foi necessária a definição do parâmetro de proporcionalidade (n) da equação de Tvergaard através de equações específicas utilizadas num programa de elementos finitos para obtenção de melhor aproximação com os resultados experimentais.

Optou-se realizar em trabalhos futuros, a simulação numérica do comportamento de relaxação do PVDF utilizando o modelo viscoplástico de Norton-Hoff, disponível em software de elementos finitos (ABAQUS). Para isso, foi necessária a determinação dos parâmetros do modelo viscoplástico, obtidos através de ensaios de tração em diferentes taxas de deformação.

Resultados e Discussão

Testes de Tração

A influência da temperatura e da taxa de deformação foi observada através de curvas de tensão-deformação obtidas por ensaios de tração. Observa-se na Fig. 1 que o aumento da temperatura provocou a diminuição nos valores de tensão máxima. O módulo elástico também diminuiu com o aumento da temperatura, como listados na Tabela 1. Esse comportamento é típico dos polímeros e está relacionado com o aumento da mobilidade das cadeias macromoleculares em maiores temperaturas. Outra observação comum para materiais que apresentam o comportamento mecânico dependente do tempo (*time-dependent materials*) é a influência da taxa de deformação no valor de tensão máxima e módulo (Fig. 1 e Tab.1). O aumento da taxa de deformação provoca a elevação dos mesmos. Esse fato é entendido da mesma maneira como a temperatura tem influência nesse tipo de material, explicando assim, o fato de serem conhecidos como materiais viscoelásticos.

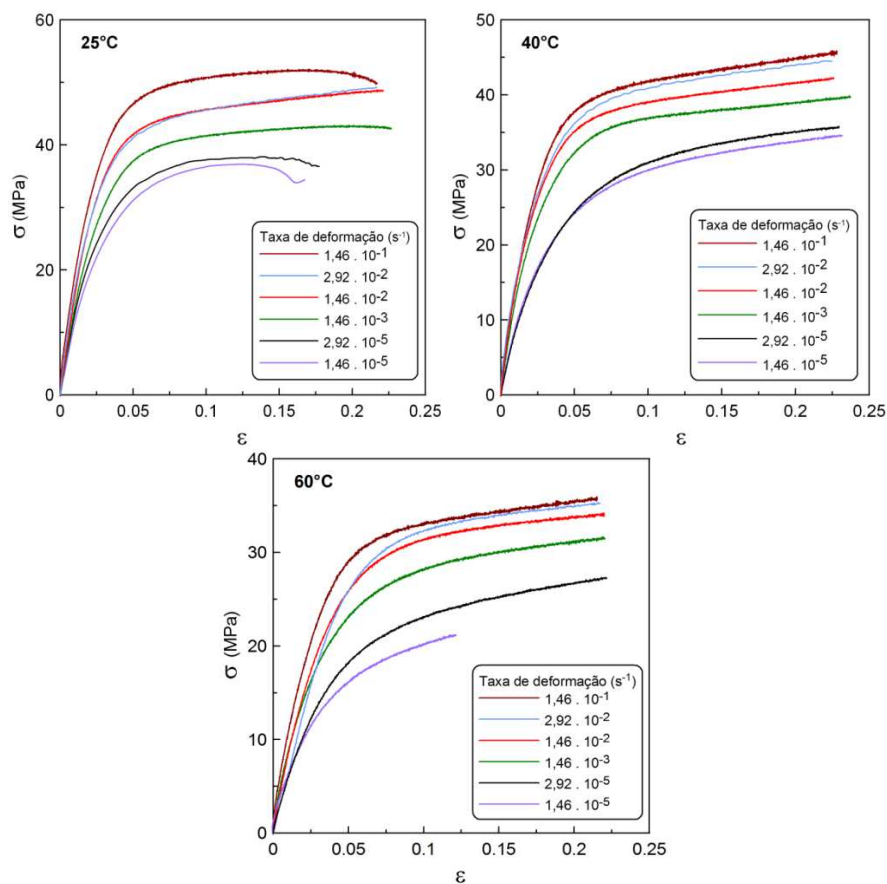
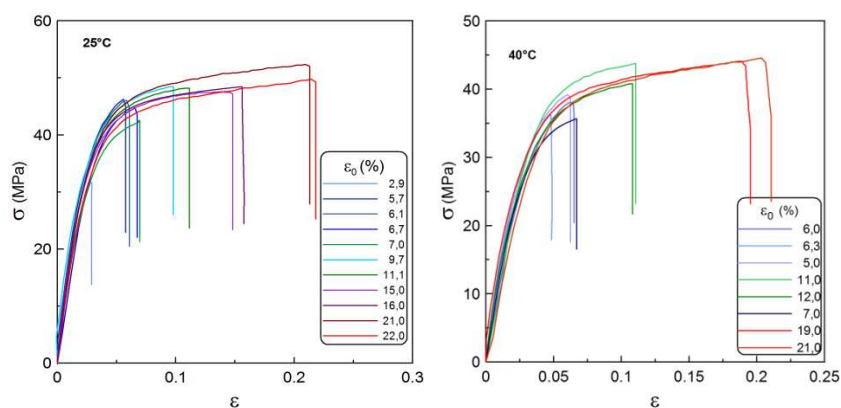


Figura 1 – Curvas de tensão-deformação de amostras de PVDF 60512 de ensaios de tração em temperaturas de 25, 40 ou 60 °C e taxas de deformação de $1,46 \cdot 10^{-5}$ até $1,46 \cdot 10^{-1} s^{-1}$.

Testes de Relaxação

Observou-se a influência da temperatura e da deformação inicial (ϵ_0) nos resultados de tensão-deformação em diferentes condições de ensaio, como descritas anteriormente. A tensão máxima apresentou queda com o aumento da temperatura, sendo maior em 25°C e 21% de ϵ_0 (52MPa) e menor em 60°C e 19% de ϵ_0 (23MPa).



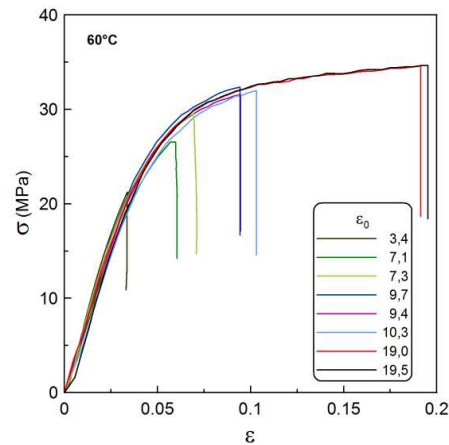


Figura 2 – Curvas de tensão-deformação de amostras de PVDF ensaiadas em 25, 40 e 60°C, taxa de deformação de $2.92 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e deformações iniciais variando de 3 até 22%.

Curva Teórica Elasto-Plástica

A curva de tensão-deformação referente ao regime elasto-plástico do material pode ser representada por uma equação de aproximação. Utilizou-se a equação de Tvergaard (Equação 1) para a definição do comportamento independente do tempo para 25, 40 e 60°C. Foi necessária a determinação do parâmetro n da equação de Tvergaard através de programa de elementos finitos, Fortran. Para essa etapa, foram utilizadas as tensões mínimas dos ensaios de relaxação nas diferentes taxas de deformação inicial, obtendo-se assim, o valor n que represente uma melhor aproximação com os resultados experimentais.

$$\sigma = \sigma_p \left(\frac{n \varepsilon}{\varepsilon_p} + 1 - n \right)^{1/n} \quad (1)$$

Para $\sigma \geq \sigma_p$, onde σ_p e ε_p são respectivamente as tensões e deformações de proporcionalidade e n é o parâmetro de forma.

A Fig. 3 mostra as curvas teóricas obtidas através da equação de Tvergaard para diferentes temperaturas. Obteve-se uma boa aproximação dos resultados experimentais e da curva teórica para todas as temperaturas. Essas curvas teóricas representam o comportamento do material quando $\dot{\varepsilon} \cong 0$, ou seja, define a resposta mecânica independente do tempo nas diferentes temperaturas. O aumento da temperatura causa queda nos valores de tensão, como pode ser observado na Fig. 3.

Utilizando ainda a equação de Tvergaard, foram obtidos os valores de deformação plástica (ε_p) e tensão plástica (σ_p) necessários para a alimentação da parcela elasto-plástica do modelo numérico.

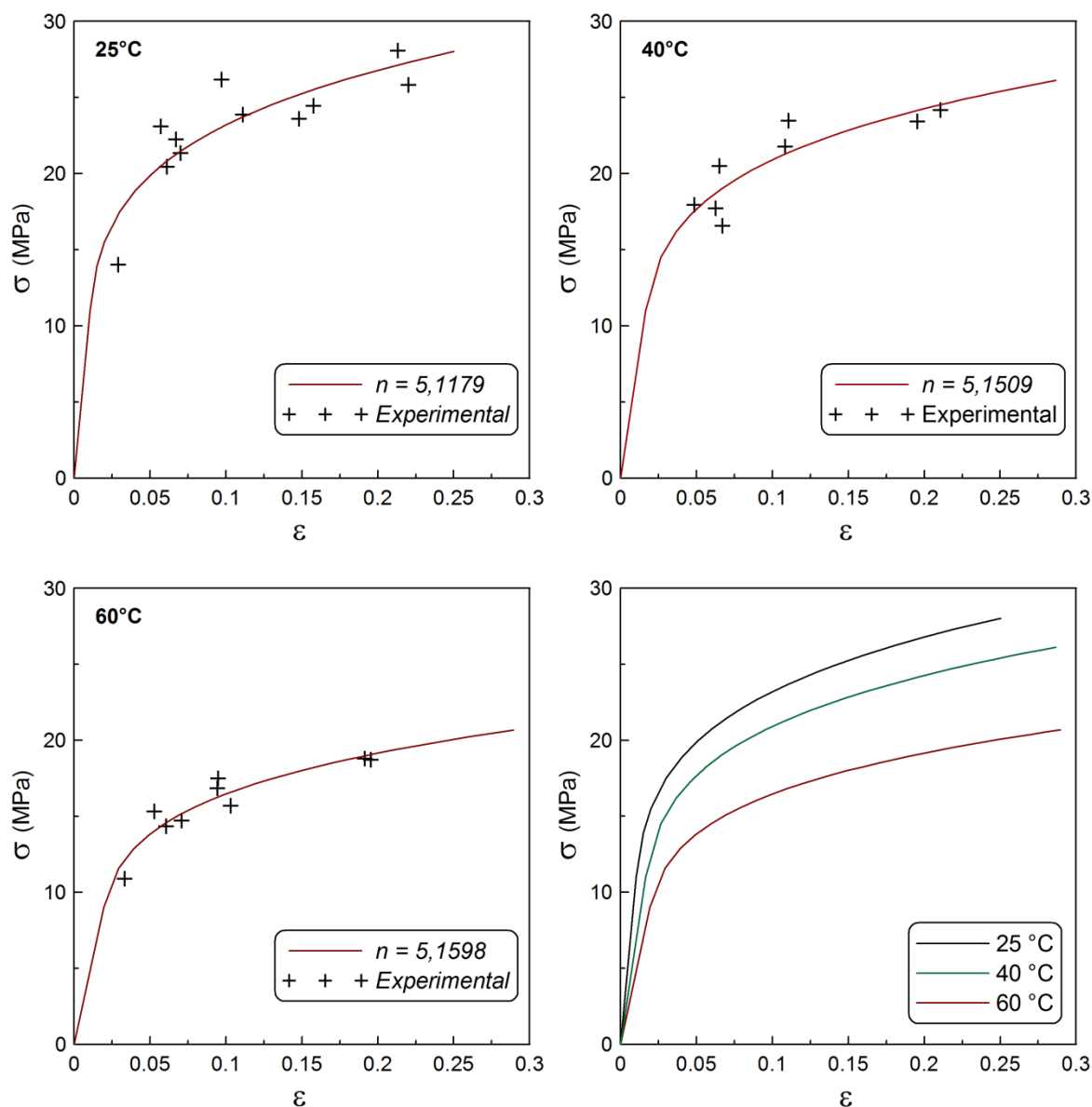


Figura 3 – Curva teórica ($\epsilon^* \approx 0$) para 25, 40 e 60°C obtidas através da equação de Tvergaard.

Parâmetros do modelo Viscoplastico

Os parâmetros do modelo viscoplastico de Norton-Hoff foram obtidos através dos resultados dos ensaios de tração em diferentes taxas de deformação e temperatura de 25 °C. Inicialmente foi necessária a obtenção das tensões viscosas (σ_v) das diferentes taxas de deformação. Essas tensões são resultados da subtração da curva teórica elasto-plástica e das curvas de tração para diversas taxas de deformação. Nesse caso, como temos seis taxas diferentes de deformação, obtivemos seis valores médios de tensão viscosa, como pode ser observado na Figura 4.

As equações de Norton-Hoff utilizadas para a determinação dos parâmetros A e n foram:

$$\sigma_v = A \dot{\epsilon}^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon} = \gamma_v^n t^m \quad (3)$$

Através da definição dos parâmetros A e n do modelo viscoplástico, obtém-se uma curva de tensão viscosa para diferentes taxas de deformação, como apresentada na Figura 4. Observa-se boa correlação entre os resultados experimentais e a curva obtida através da equação de Norton-Hoff, sendo possível dessa maneira, determinar os valores de A e n para as temperaturas de 25, 40 e 60°C.

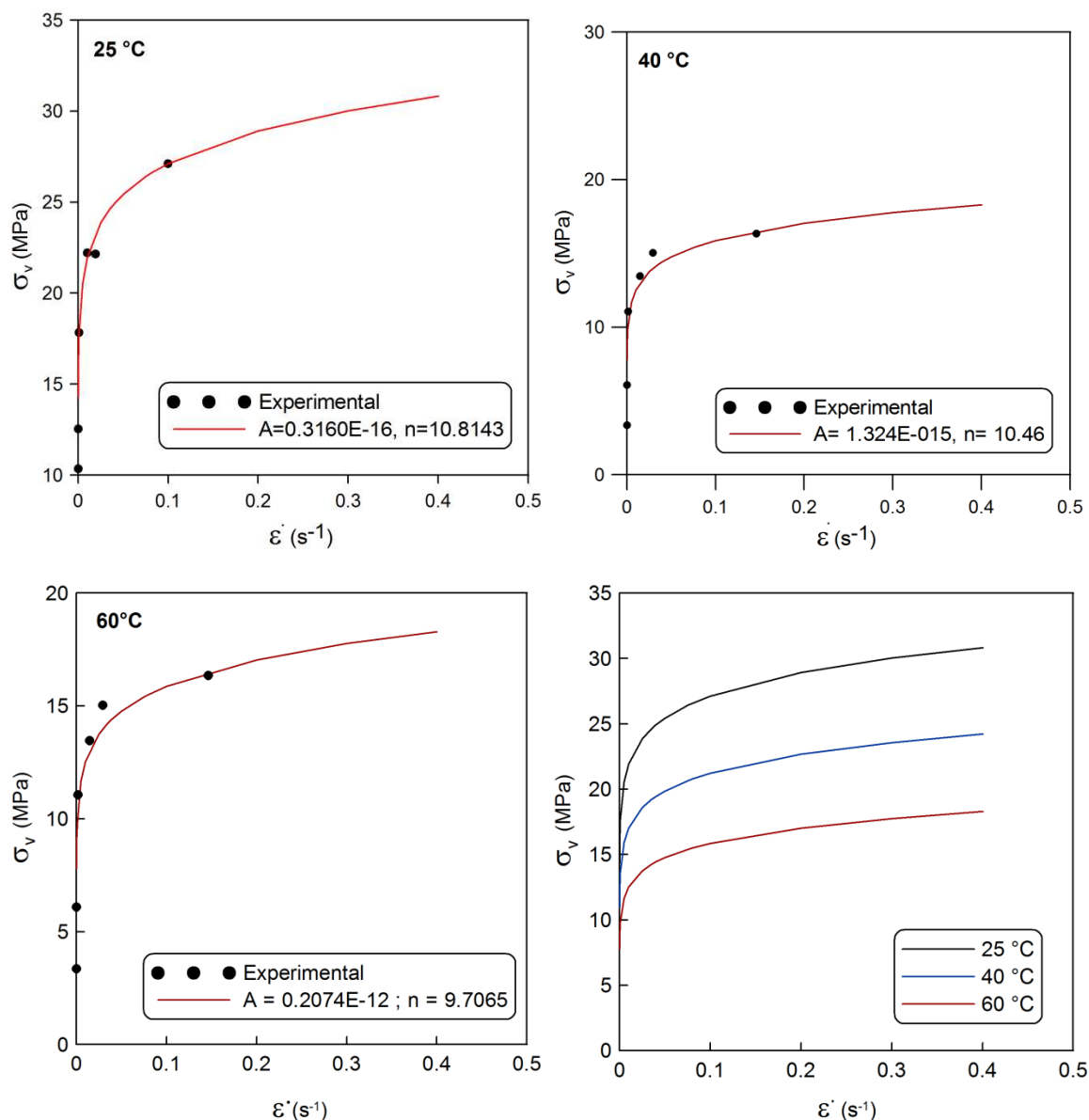


Figura 4 – Curvas de tensão viscosa x taxa de deformação para 25, 40 e 60°C obtidas através da equação de Norton-Hoff para a determinação dos parâmetros A e n .

Conclusões

Pôde-se observar a influência da temperatura e da taxa de deformação nos resultados de tensão-deformação quando o PVDF é submetido a carregamento de tração. O aumento da temperatura ou diminuição da taxa de deformação provocou queda do módulo elástico e da tensão máxima. O comportamento de relaxação também sofreu influência da temperatura e deformação inicial. O aumento da temperatura ou diminuição da deformação inicial provocou uma queda na tensão máxima. Esse comportamento é compreendido através do maior mobilidade das cadeias macromoleculares em

temperaturas mais elevadas ou em taxas de deformação menores (ensaios mais lentos), isso comprova o comportamento mecânico dependente do tempo de aplicação de uma força desses materiais.

Foi possível obter uma curva que define o comportamento elasto-plástico do PVDF através da utilização dos resultados de relaxação para 25, 40 e 60°C e diferentes deformações iniciais. Foi utilizada a equação de Tvergaard para definir a curva independente do tempo, a qual apresentou boa aproximação com os resultados experimentais. Através dos resultados de tração em diferentes taxas de deformação foi possível a determinação das tensões viscosas para diferentes taxas de deformação. Desta maneira, foram determinados os parâmetros A e n do modelo viscoplástico de Norton-Hoff.

Os futuros trabalhos compreendem a utilização dos parâmetros viscoplásticos obtidos para o desenvolvimento de um modelo numérico no ABAQUS, tendo como objetivo simular o comportamento dependente do tempo do PVDF em altas temperaturas. Após a validação do modelo, será possível a simulação do material em aplicações na indústria de petróleo, como em dutos flexíveis ou reparo interno de dutos.

Agradecimentos

À Agência Nacional de Petróleo (ANP), pelo apoio financeiro prestado durante a pesquisa.

Referências Bibliográficas

1. Hussain, A.A., Shakir, A. W. Two dimensional elasto-viscoplastic analysis using finit element method in: International Ansys Conference, 2006;
2. ABAQUS – Theory Manual, Version 5.4 – Hibbitt, Karlsson & Sorenson Inc;
3. ABAQUS – User’s Manual, Version 5.4 - Hibbitt, Karlsson & Sorenson Inc.