



Instituto Politécnico, Nova Friburgo
August 30th- September 3rd, 2004

Paper CRE04-TF48

Deslocamento de Materiais Viscoplásticos em Tubos

José Roberto R. Siffert¹, Eduardo S. S. Dutra² e Paulo R. Souza Mendes³

Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica,
Rua Marquês de São Vicente 225, RJ 22453-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
¹jrsiffert@mec.puc-rio.br, ²essd@mec.puc-rio.br, ³pmendes@mec.puc-rio.br

O escoamento de fluidos imiscíveis em tubos ocorre em diferentes processos industriais. Particularmente, os processos de extração de óleo em meios porosos e cimentação de poços de petróleo, envolvem um fluido deslocado e um deslocador. Nestes casos, espera-se remover o máximo de fluido deslocado. Já no revestimento de superfícies internas de tubos deseja-se, com precisão, que a espessura de fluido na parede seja constante. Para uma boa compreensão e otimização destes processos, é extremamente relevante o estudo da influência de parâmetros adimensionais no padrão de escoamento. Além disso, os materiais envolvidos são frequentemente polímeros com propriedades mecânicas não Newtonianas. Portanto, o estudo dos efeitos dos parâmetros reológicos faz-se igualmente importante. O deslocamento de fluidos Newtonianos e a sua deposição em geometrias tubulares foram estudados experimental e teoricamente [1,2]. Nestes estudos, mostrou-se que a fração adimensional de massa (m) depositada aumenta com o número de capilaridade (Ca) até atingir um patamar constante. Estes parâmetros são definidos da seguinte forma:

$$m = \frac{U - u}{U}, \quad Ca = \frac{\mu U}{\sigma} \quad (1)$$

onde U é a velocidade da interface, u é a velocidade média do escoamento longe da interface, μ é a viscosidade de cisalhamento Newtoniana e σ é a tensão interfacial do fluido deslocado em relação ao ar. Mais recentemente, diversos pesquisadores estudaram o deslocamento de líquidos viscoelásticos por gases ou líquidos. Uma pesquisa bibliográfica extensa é encontrada em [3].

Neste trabalho estudamos o deslocamento de um fluido viscoplástico por um Newtoniano em um tubo, e vice-versa. A secção de testes consiste basicamente de um tubo de vidro de diâmetro interno igual a 3 mm conectado a dois reservatórios, um contendo o líquido deslocador, e o outro contendo o líquido deslocado. O tubo é cheio com a solução que será deslocada antes de iniciar cada teste. O início do teste se caracteriza pelo escoamento do fluido deslocador, que avança no tubo empurrando o deslocado. O movimento da interface entre os dois líquidos e a camada do primeiro que permanece não deslocada na parede (m) são visualizados com o auxílio de uma câmera CCD para diferentes vazões (ou números de capilaridade Ca) do líquido deslocador. Este experimento permite observar a dependência de m com Ca para cada combinação de reologias dos líquidos envolvidos. A reologia da solução de Carbopol é modificada com a concentração, enquanto que a do óleo se resume à viscosidade Newtoniana.

A Fig. 1 mostra a interface entre uma solução de Carbopol (0,15%) e óleo lubrificante com viscosidade constante 0,01Pa.s em um escoamento a baixas velocidades. Observa-se que a interface é plana e a deposição de massa na parede é pequena.

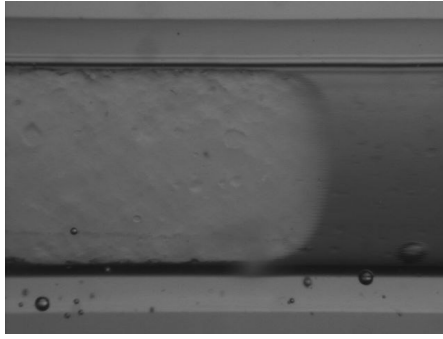


Figura 1

A massa depositada na parede é avaliada a partir da Eq. (1). Através do princípio de conservação de massa, essa se torna somente função de parâmetros geométricos, a saber, o raio interno do tubo, $R_{tubo} = 1,5$ mm; e o raio da bolha de óleo, R_{bolha} :

$$m = 1 - \frac{R_{bolha}}{R_{tubo}} \quad (2)$$

Por se tratar de um material viscoplástico, o mesmo apresenta uma tensão limite de escoamento (τ_0), abaixo da qual exibe um comportamento Newtoniano com alta viscosidade. Ao atingir τ_0 , observa-se uma queda dramática da viscosidade. A tensões superiores a τ_0 , a viscosidade diminui com a taxa de cisalhamento. Este comportamento é bem representado pela função viscosidade a seguir [4]:

$$\eta = (1 - \exp(-\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau_0})) (\frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + K \dot{\gamma}^{n-1}) \quad (3)$$

Os parâmetros da equação (3) são obtidos a partir de dados experimentais de testes realizados em um reômetro rotacional.

O número de capilaridade Ca é calculado pela Eq. (1), onde a velocidade da bolha é avaliada a partir de medições do tempo que a frente da interface leva para percorrer uma distância fixa (marcada no tubo de vidro). A viscosidade é avaliada utilizando-se a Eq. (3) para uma taxa de cisalhamento igual a U/R_{tubo} . A tensão interfacial σ é medida com um goniômetro de gota pendente.

Os resultados experimentais são apresentados graficamente em curvas $m \times Ca$ para diferentes reologias do líquido deslocado.

REFERÊNCIAS

- [1] Taylor, G. I., Deposition of a Viscous Fluid on the Wall of a Tube, *J. Fluid Mech.*, **10**:161-165, 1961.
- [2] Bretherton, F. P., The Motion of Long Bubbles in Tubes, *J. Fluid Mech.*, **10**:166-188, 1961.
- [3] Soares, E. J., Deslocamento de Fluido Imiscíveis em Tubos: Efeito de Capilaridade, Inércia, Razão de Viscosidades e Propriedades Reológicas. Tese de Doutorado – Eng. Mecânica – PUC-Rio, 2002.
- [4] Souza Mendes, P. R., and Dutra, E. S. S., Viscosity Function for Yield-Stress Liquids, *Applied Rheology*, 2004 (submitted).