

2 Revisão Bibliográfica

O escoamento de materiais viscoplásticos tem sido analisado na literatura por diversos autores. O clássico livro de Bird et al. (1987) apresenta alguns casos de escoamento em geometrias simples. Barnes (1999a) elaborou uma revisão detalhada sobre materiais com tensão limite de escoamento, utilizando o argumento de que a tensão de escoamento efetivamente não existe. Ele mostrou, para um grande número de materiais classificados normalmente como viscoplásticos, que quando medições cuidadosas são efetuadas abaixo da “tensão limite de escoamento”, o escoamento na verdade ocorre, mas com velocidades e deformações muito pequenas. Ao mesmo tempo, a função viscosidade apresentaria um comportamento semelhante a um modelo bi-viscoso, com valores muito elevados a baixas taxas de deformação. Entretanto, uma tensão de escoamento aparente pode existir como uma descrição matemática útil para determinada faixa de aplicação, ou para determinadas condições de escoamentos.

Escoamento de materiais viscoplásticos em expansões/contrações já foram estudados por alguns autores, como por exemplo, Souza Mendes et al. (2000) e Gans (1999).

Souza Mendes et al. (2000) analisaram o escoamento laminar em regime permanente de um fluido Newtoniano Generalizado através de uma expansão e contração abrupta axisimétrica. Foi utilizada o modelo de bi-viscosidade modificado para a função viscosidade, para representar numericamente o modelo de Herschel-Bulkley. Foram feitas análises numéricas, utilizando o método de volumes finitos, e visualizações experimentais. Observou-se que para expansões longas o fluido teve comportamento experimental compatível com a solução numérica, e comportou-se como um fluido Newtoniano, sem zonas de estagnação. Porém, para expansões curtas a solução numérica não reproduziu os resultados experimentais de forma satisfatória. A visualização experimental mostrou uma região de estagnação próxima à parede do duto maior. Nesta situação, o escoamento do fluido no duto de maior diâmetro se dava apenas na região mais

próxima do centro, caracterizando uma possível fratura do material entre esta região e a zona de estagnação. Os resultados numéricos não reproduziram de forma satisfatória este comportamento, devido a natureza da função viscosidade utilizada.

Gans (1999) analisou um problema do tipo lubrificação, para um escoamento lento. Um problema típico de lubrificação requer uma análise de escoamento entre duas superfícies praticamente paralelas (com um suave contração). Escoamentos desta natureza para fluidos com tensão de escoamento finita estão ficando cada vez mais importantes. O modelo utilizado para a viscosidade foi o de Bingham. O objetivo foi verificar a existência de regiões dentro do escoamento onde o fluido comporta-se como um sólido. Nestas regiões, o fluido pode estar grudado à parede ou pode escoar livremente em bloco. A conclusão do autor é que usualmente escoamentos confinados de fluidos de Bingham geralmente apresentarão escoamento em todo campo, não apresentando regiões "sólidas".

Haake (2000) apresenta uma discussão sobre a determinação do ponto de escoamento. Ele analisou o comportamento de materiais com tensão de escoamento através de gráficos de tensão x deformação e de viscosidade x tempo, obtidos através de medições com reômetros de tensão controlada. O autor apresenta alguns comentários sobre critérios para a determinação do ponto de escoamento, e ressalta alguns cuidados a serem tomados na avaliação das curvas.

Alexandrou et al. (2001), estudaram numericamente o escoamento de fluidos de Herschel-Bulkley em expansões tridimensionais com área da seção transversal retangular. Os resultados foram obtidos para taxas de expansão de 2:1 e 4:1. Foram investigados os efeitos do número de Reynolds e do número de Bingham na distribuição do campo de pressão e no padrão de escoamento, analisando-se também a forma da superfície de escoamento, que representa o limite entre as regiões de escoamento e de estagnação. Foram apresentados resultados que mostram o aparecimento de zonas de estagnação ao longo do escoamento. Foi observado que existe uma forte interligação entre os números de Reynolds e Bingham e suas influências na formação e fratura de zonas de estagnação, que aparecem preferencialmente nos cantos da expansão, e no tamanho e localização da região central, por onde ocorre o escoamento. Além disso, mostra-se que os efeitos em contrações maiores são mais pronunciados.

Souza Mendes et al. (1996) analisaram o escoamento permanente de um fluido de Bingham através de um arranjo de tubos capilares. A equação de conservação de massa e quantidade de movimento foram resolvidas numericamente pelo método de volumes finitos descrito por Patankar (1980), em associação com o modelo bi-viscoso, para determinar uma relação entre taxa de escoamento e queda de pressão. Foram feitas também medidas experimentais do escoamento do fluido de Bingham para verificação e validação do modelo proposto por Souza Mendes e Naccache (1994) para escoamentos através de meios porosos. O objetivo desta avaliação é fixar sua capacidade de descrever a influência dos parâmetros reológicos no escoamento. Os resultados previstos por esta teoria tiveram boa concordância com resultados numéricos e experimentais. Os autores apresentam comentários no sentido de que o modelo proposto, apesar de mostrar-se eficiente para diversos cenários, tem suas limitações, uma vez que propõe a concentração de dois parâmetros em um.

Mitsoulis e Zisis (2001), estudaram numericamente o escoamento de um plástico de Bingham em uma cavidade quadrada. O modelo de Bingham modificado por Papanastasiou foi utilizado para as simulações numéricas. As equações constitutivas foram resolvidas em conjunto com as equações de conservação usando o método de elementos finitos (FEM). Foi estudado o efeito do número de Bingham, Bn , que fornece uma medida da viscoplasticidade do fluido na formação e localização de zonas de estagnação dentro da cavidade. Observou-se o aparecimento de duas zonas de estagnação, que são maiores para os fluidos mais viscoplásticos.

Hammad e Vradis (1995), analisaram o escoamento lento (“creeping flow”), incompressível e em regime permanente, de um plástico de Bingham através de uma contração abrupta axisimétrica, com dissipação viscosa. A técnica baseada em diferenças finitas, foi usada para resolver as equações que governam o escoamento. Foi investigado o efeito do aquecimento do fluido, gerado apenas pela dissipação viscosa, na alteração da tensão de escoamento e o efeito do número de Peclet no campo de temperaturas ao longo do escoamento.

Hammed (1999), analisou o efeito das condições hidrodinâmicas de um escoamento viscoplástico laminar complexo não isotérmico na transferência de calor. A geometria adotada foi uma expansão abrupta com uma obstrução variável antes do plano da expansão. O fluido viscoplástico estudado foi o plástico de Bingham. As equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia que governam o problema são resolvidas numericamente por meio de técnica das diferenças finitas. Os efeitos da variação no tamanho da obstrução, tensões de escoamentos adimensionais, número de Reynolds, número de Prandtl e o número de Brinkman no escoamento e transferência de calor são estudados. Os resultados obtidos indicam a natureza complexa do problema de escoamento viscoplástico e da transferência de calor associada e revela novas características não encontradas no caso de escoamentos com fluidos Newtonianos.