

## 7 Conclusão

O presente trabalho investigou experimentalmente o efeito da adição de polímeros na redução de atrito em escoamentos turbulentos de água através de dutos. O efeito de redução de atrito foi avaliado pela medição da queda de pressão ao longo do tubo, representado em termos do fator de atrito hidrodinâmico, e de campos instantâneos e médios de velocidade. Também foram avaliados os efeitos da adição do polímero sobre as grandezas turbulentas do escoamento.

Para isso foi especialmente projetada e construída uma seção de testes que permitisse a utilização da técnica de Velocimetria por Imagem de Partículas, PIV, além de medições de queda de pressão ao longo do duto. A técnica PIV foi implementada em sua versão estereoscópica, o que permitiu a medição de campos instantâneos tridimensionais de velocidade em uma seção reta circular do tubo.

Os estudos foram iniciados pela validação da seção de testes construída e dos procedimentos experimentais implementados. Experimentos utilizando apenas água como fluido de trabalho foram conduzidos para este fim. Os resultados obtidos para a queda de pressão apresentaram desvios da ordem de 3% quando comparados a correlações semi-empíricas bem estabelecidas na literatura. Perfis de velocidade média foram extraídos dos campos de velocidade fornecidos pela técnica PIV e apresentados em coordenadas de parede. A concordância com dados disponíveis na literatura foi excelente, o que foi considerada como uma indicação da qualificação da seção de testes construída.

Os experimentos com solução de água e poliacrilamida a 20 ppm foram realizados para uma faixa de número de Reynolds variando de  $4,2 \times 10^3$  a  $3,4 \times 10^4$ , limite máximo obtido com a seção construída. Devido a limitações de tempo, apenas quatro valores para o número de Reynolds e uma concentração de polímero foram investigados.

Os resultados obtidos mostraram uma queda pronunciada no fato de atrito com a adição de polímero, chegando a 50% do valor obtido para a água, para os maiores valores de Reynolds investigados. Para baixos valores de Reynolds, não foi observada redução no fator de atrito. Apesar dos cuidados tomados no

projeto da seção de testes, a degradação do polímero durante os experimentos se mostrou intensa, principalmente no início do experimento. Por esta razão, as medidas foram realizadas após a estabilização da solução. Após cerca de seis horas de operação da seção de testes ainda se verificou reduções de fator de atrito da ordem de 20% para os maiores valores do número de Reynolds.

A medição dos campos de velocidade com a técnica PIV estereoscópica apresentou excelentes resultados. Os campos médios gerados forneceram informações abundantes sobre o escoamento. A combinação de campos instantâneos e médios de velocidade permitiu a determinação das flutuações turbulentas da velocidade nas três direções, uma contribuição considerada relevante, pois na maioria dos trabalhos disponíveis na literatura são encontradas apenas informações sobre dois componentes de flutuações da velocidade.

A determinação de campos de velocidade tridimensionais instantâneos, médios e de grandezas turbulentas por meio da técnica PIV estereoscópica exige um esforço computacional significativo. Por esta razão, devido às características do sistema computacional disponível, o número máximo de campos de velocidade medidos ficou limitado a 600. Apesar do número reduzido de campos de velocidade utilizados na formação das grandezas estatísticas de interesse da turbulência, os resultados obtidos mostraram-se coerentes com resultados da literatura e permitiram identificar os efeitos da adição de polímeros sobre a estrutura do escoamento.

O principal efeito da adição de polímeros sobre o escoamento foi o alargamento da região de transição do perfil de velocidade, verificado quando o perfil é apresentado em coordenadas de parede. Este alargamento da região de transição gera um deslocamento do perfil de velocidade na região logarítmica.

Também foi observado que os níveis de flutuação das velocidades, dados em termos do valor *rms* da velocidade, foram diminuídos na presença do polímero em toda a seção reta do tubo, à exceção da componente axial na região próxima à parede onde picos na distribuição das velocidades *rms* são observados.

Os resultados mostraram também que o perfil de tensões turbulentas é bastante afetado pela presença do polímero, indicando uma diminuição da correlação entre as flutuações axiais e transversais da velocidade.

Finalmente, deve ser mencionado que a principal contribuição do presente trabalho foi criar condições para o início de uma linha de pesquisa no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC - Rio na área de redução de

atrito em escoamentos. A montagem de uma seção de testes completa, certificada contra dados experimentais aceitos na literatura, aliada à implementação de uma técnica de medição sofisticada ainda pouco difundida internacionalmente e que produz campos de flutuação tridimensionais, foram tarefas complexas que consumiram a maior parte do tempo disponível para a realização da dissertação de Mestrado. Os dados obtidos sobre os efeitos da adição de polímeros no escoamento não se constituem em informações originais. Mas a concordância obtida com dados da literatura indica que os experimentos foram bem conduzidos fornecendo as bases necessárias para o grupo de pesquisa dar continuidade ao trabalho em busca de novas explicações para os fenômenos observados relacionados à redução de atrito e à estrutura do escoamento turbulento junto a paredes.