

5

Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1

Conclusões

O presente trabalho investigou experimentalmente a influência da rotação do cilindro interno no escoamento em um espaço anular com gradiente de pressão axial. Este estudo foi realizado através das medições dos fatores de atrito e dos campos de velocidade.

Foi realizada uma extensa e cuidadosa qualificação da seção de teste, para o caso de ausência da rotação do cilindro interno. Inicialmente, foram medidos os fatores de atrito para os regimes de escoamento laminar e turbulento. Os fatores de atrito foram comparados com soluções analíticas encontradas na literatura. Os resultados do presente trabalho não diferiram de mais de 3% quando comparados com os valores obtidos pelas soluções analíticas para todos os casos investigados. A seguir, para uma melhor qualificação da seção de testes foram obtidos os perfis de velocidade axial na condição de escoamento hidrodinamicamente desenvolvido. Para o regime laminar, os perfis de velocidade axial obtidos foram comparados com a solução analítica mostrando excelente concordância. Para o regime turbulento, foi notada a tendência de achatamento do perfil de velocidade axial à medida que o número de Reynolds axial aumenta, característico deste regime de escoamento. A partir disso a seção de teste foi qualificada para a obtenção da queda de pressão e dos campos de velocidade sob influência da rotação do cilindro interno

As distribuições da queda de pressão, na forma de fatores de atrito, ao longo do espaço anular revelaram que a influência da rotação é mais pronunciada para valores de números de Reynolds laminares e de transição. Para estes regimes de escoamento, o fator de atrito crescia com o aumento da rotação, chegando a incrementos de 100% quando comparado com o fator de atrito para o caso sem rotação do cilindro interno. Para o regime de escoamento turbulento, o acréscimo no fator de atrito foi gradativamente

diminuindo até o valor de 10% para o maior número de Reynolds axial investigado, quando comparado aos fatores de atrito sem rotação do cilindro interno. Esta faixa decrescente de aumento de 100% a 10% é observada para todos os valores do número de Reynolds rotacional investigados, indicando que existe uma relativa insensibilidade na magnitude do acréscimo do fator de atrito ao número de Reynolds rotacional. Estes resultados apresentaram boa concordância com dados de fatores de atrito para a mesma geometria anular, existentes na literatura.

Os campos instantâneos de velocidade foram obtidos pela técnica de PIV. Para identificar os padrões do escoamento, os campos de velocidade instantâneos foram subtraídos do campo de velocidade axial médio temporal. Os resultados revelaram, em alguns casos, uma estrutura complexa do escoamento.

Com os perfis de velocidade axial médios pode-se obter uma noção qualitativa no aumento do fator de atrito com a rotação do cilindro interno, a partir da observação do gradiente de velocidade próximo às paredes dos cilindros. Apesar de não ter sido possível obter medidas de velocidade próximos às paredes, devido a uma limitação da técnica PIV nesta região, foi possível observar um aumento do gradiente de velocidade para os casos com rotação do cilindro interno quando comparados com o caso sem rotação.

Além disso foram estimados os valores das flutuações de velocidade. A velocidade axial rms apresentou grandes flutuações para os menores valores de números de Reynolds axial e para o maior valor de Reynolds rotacional investigados. Isto está associado a passagem dos grandes vórtices. Para os números de Reynolds axial turbulentos, os valores das flutuações para os três números de Reynolds rotacional analisados foram coincidentes, mostrando assim, uma pequena influência da rotação do cilindro interno.

5.2

Recomendações para Trabalhos Futuros

Nesta seção são apresentadas algumas recomendações para trabalhos futuros.

É importante a continuação das medições de queda de pressão ao longo do anular dos mesmos casos investigados no presente trabalho, visando a redução da incerteza experimental, de forma a obter resultados do fator atrito mais confiáveis.

Utilizar medidores de pressão e de vazão com incertezas baixas, afim de diminuir a incerteza no fator de atrito. Estes medidores poderiam ser

um medidor de vazão eletromagnético calibrado e um transdutor de pressão calibrado.

Fazer ajustes na seção de testes a fim de eliminar o pequeno empeno do cilindro interno. Neste caso, será possível realizar a análise temporal dos padrões de escoamento com a técnica de PIV, bem como uma análise espectral.

Utilizar a técnica de Estéreo PIV, possibilitando medir as três componentes da velocidade. Acredita-se que o uso desta técnica irá auxiliar na investigação dos padrões de escoamento.

Executar experimentos com rotações menores do cilindro interno, a fim de verificar os padrões de vórtices encontrados na literatura.

Investigar a excentricidade do cilindro interno para os fatores de atrito e campos de velocidade, com o objetivo de aproximar-se de condições mais reais do fenômeno físico investigado.

Analisar a influência da obstrução parcial do escoamento na região anular na tensão de cisalhamento, na queda de pressão e campos de velocidade. É importante destacar que a tensão de cisalhamento na superfície obstruída poderá ser obtida com a técnica de anemometria de filme quente.