

ESTUDO EXPERIMENTAL DA REDUÇÃO DE ARRASTE POR ADIÇÃO DE POLÍMEROS UTILIZANDO A TÉCNICA DE PIV HOLOGRÁFICO DIGITAL

Giulia Tolomeotti Ramos, Juliana Abrantes e Luis Fernando A. Azevedo - Lfaa@puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marques de São Vicente, 225 – Gávea/RJ.

RESUMO: Os fenômenos físicos envolvidos na redução do arraste por adição de polímeros continuam parcialmente desconhecidos. A técnica já é amplamente utilizada na indústria do petróleo com fins de redução nos custos de bombeamento, entretanto a melhor compreensão da dinâmica por trás do efeito de redução é essencial para a otimização de processos. No presente trabalho, espera-se que uma nova técnica de medição de campos tridimensionais de velocidade em escoamentos, o PIV holográfico, forneça dados mais completos que auxiliem no estudo deste fenômeno.

PALAVRAS-CHAVE: Redução de Arraste, Velocimetria por Imagem de Partículas, Holografia

ABSTRACT: *The physical phenomena involved in drag reduction by polymer addition remain partially unknown. The technique is established and largely used in the oil industry with the goal of reducing the transportation costs. Nevertheless, a better understanding of the underlying dynamics in the drag reduction effect is essential for process optimization. In the present work, it is expected that the Holographic Particle Image Velocimetry technique will aid in the comprehension of this phenomenon, by generating new, more complete experimental data.*

KEYWORDS: *Drag Reduction, Particle Image Velocimetry (PIV), Holography*

INTRODUÇÃO

Foi descoberto, em 1949, que a adição de uma pequena quantidade de polímero é capaz de reduzir drasticamente o atrito do fluido com a parede de um tubo por onde este escoar. Desde então, esta técnica vem sendo amplamente utilizada para a solução de problemas de energia e meio ambiente. As moléculas poliméricas interagem com as estruturas do escoamento na proximidade da parede e isto resulta em uma redução na perda de carga média. Na prática, isto pode significar, por exemplo, um menor número de estações de bombeamento ao longo de um extenso oleoduto, como foi o caso do oleoduto Trans-Alaska, onde se fez uso da adição de polímeros ao escoamento com bastante sucesso. Assim, do ponto de vista econômico, este fenômeno é extremamente interessante. Por isso, este tema foi extensamente estudado por diversos pesquisadores ao longo das últimas décadas, tanto experimentalmente quanto através de simulações numéricas. No lado experimental, nos últimos anos, técnicas óticas de velocimetria para medição de escoamentos – PIV (Velocimetria por Imagem de Partículas – Particle Image Velocimetry) – foram aprimoradas e atualmente são capazes de medir campos tridimensionais de velocidade. O PIV Holográfico, por exemplo, tem grande potencial e pode ajudar a elucidar os fenômenos físicos envolvidos na redução de arraste. O objetivo deste trabalho, então, é estudar este fenômeno em um escoamento utilizando o PIV Holográfico, investigando as estruturas tridimensionais do escoamento e suas interações com as moléculas de polímero em um pequeno volume próximo à parede. Isto irá permitir uma maior compreensão sobre a dinâmica local que gera o

efeito global de redução.

METODOLOGIA

Uma redução significativa no arraste só se dá em escoamentos turbulentos, com elevados números de Reynolds (número adimensional, definido pelo diâmetro do canal ou outra dimensão equivalente, a velocidade do escoamento e outras propriedades do fluido). Em um escoamento turbulento, a variedade de estruturas e de suas escalas de tamanho é muito grande, e os turbilhões muito pequenos encontrados na região da parede interagem de forma complexa com as moléculas de polímero. Assim, esta região próxima à parede é onde os mecanismos importantes ocorrem, e a técnica aqui proposta – o PIV Holográfico – adequa-se à necessidade de conseguir analisar uma região bastante reduzida do escoamento, além de proporcionar campos tridimensionais de velocidade.

O PIV Holográfico é uma técnica não intrusiva para visualização e cálculo do campo de velocidades em um volume e com as três componentes (3D-3C). Partículas micrométricas são inseridas no escoamento e iluminadas por um feixe de laser. Uma câmera captura, então, dois hologramas – espaçados por um intervalo de tempo determinado.

O holograma é uma imagem com o registro de franjas de interferência que contém informação sobre as posições das partículas no pequeno volume de medição dentro do canal. O feixe de laser, que em sua maior parte passa não perturbado pelas partículas, interfere com os padrões de difração gerados pelas partículas iluminadas por ele, formando padrões de interferência característicos de cada

partícula. Estes padrões são justamente o que chamamos de franjas de interferência, padrões circulares que podem ser vistos na Fig. 1. Simulando numericamente uma equação de propagação de luz difratada, um programa em C++ reconstrói o volume de partículas original, plano a plano.

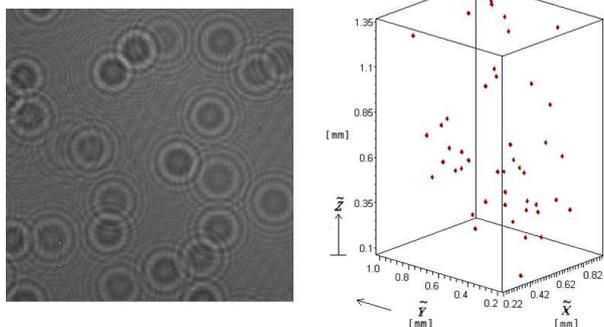


Figura 1. Holograma original e o volume de partículas reconstruído

Uma vez que as coordenadas tridimensionais das partículas nos volumes para os dois instantes de tempo estão computadas, um algoritmo de *tracking* é aplicado. Assim, a partir das posições iniciais e finais das partículas e do intervalo de tempo conhecido, é possível calcular o campo de velocidades tridimensional do escoamento.

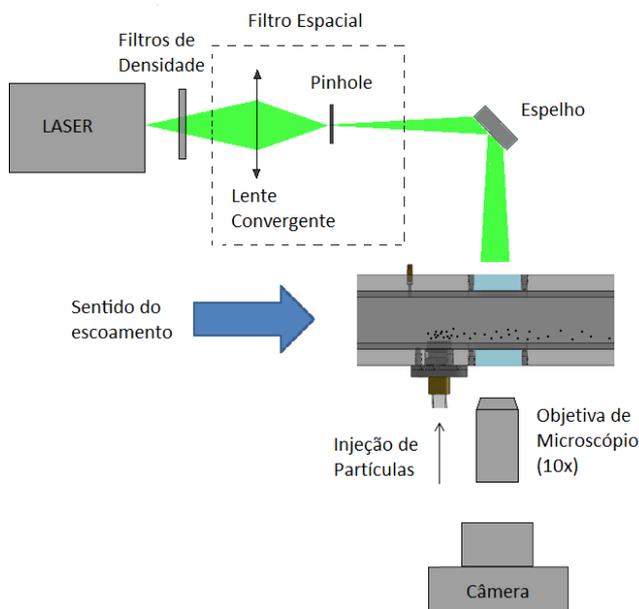


Figura 2. Montagem ótica para a captura de hologramas

Para adequar a técnica ao objetivo do experimento, foram feitas algumas adaptações. O objetivo é permitir o estudo do escoamento próximo à parede, onde os mecanismos que geram redução no atrito ocorrem, conforme explicado anteriormente. Por isso, a visualização se dá na região adjacente à parede inferior do canal, e após o escoamento estar bem desenvolvido (o volume de medição mostrado

na Fig. 2 se situa próximo ao final da seção de testes). As partículas são inseridas em solução a montante, a uma pequena distância da região de visualização – como mostrado na Fig. 2 – através de uma bomba de seringa. Injetadas localmente desta forma, as partículas além de seguirem fielmente o escoamento e suas estruturas, se mantêm concentradas apenas na parte inferior do canal, o que é um requerimento para que a configuração holográfica utilizada funcione. Como esta bomba é capaz de controlar a injeção de pequenas vazões, evita-se que o escoamento seja perturbado ou modificado. Por este mesmo motivo, as partículas são inseridas através de furos de 80 μ m, evitando que, devido ao relevo do furo, haja uma perturbação no escoamento. Para otimização da reconstrução holográfica (visto que as partículas possuem aproximadamente 3 μ m de diâmetro), posiciona-se, antes da câmera, uma objetiva de microscópio com magnificação nominal de dez vezes. Também com o propósito de otimizar os padrões registrados pela câmera, janelas de vidro de excelente qualidade ótica são utilizadas tanto na parede inferior, onde se dá o acesso da câmera, quanto na superior, por onde passa o feixe de laser para iluminação das partículas.

O canal por onde escoar o fluido é quadrado – novamente, para permitir uma melhor visualização, sem distorções – e o escoamento se dá em regime aberto - o fluido é descartado, não volta a circular pela seção. Isto porque as moléculas de polímero se degradam rapidamente, e não há garantias de que, em consecutivas passagens pela seção de testes, o potencial de redução de arraste continue o mesmo que anteriormente.

As moléculas de polímero, por sua vez, são adicionadas ao escoamento por meio de uma solução aquosa. Esta solução – mais concentrada que a final - é misturada a água na entrada do canal, ao passar por um misturador.

CONCLUSÃO

O experimento aqui descrito requer a montagem de uma seção experimental bastante complexa, com injeção de solução polimérica, injeção de partículas, aparato ótico de altíssima qualidade devido à utilização da técnica holográfica, entre outros fatores. O projeto desta seção é, portanto, crucial para a qualidade dos resultados. Esta importante de projeto e montagem se encontra finalizada, à parte de alguns pequenos ajustes finais. Com a seção montada e testada de todas as formas possíveis, espera-se que dados possam ser coletados no próximo mês, e que tais dados tenham como resultado tanto a solidificação da técnica do *PIV* Holográfico em escoamentos complexos, quanto uma grande contribuição para a pesquisa na área de redução de arraste.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.