

## **5**

### **Procedimento experimental**

Neste capítulo são descritos os procedimentos experimentais adotados durante a realização dos experimentos, de modo a garantir a repetibilidade dos resultados dentro de níveis de incerteza experimental considerados aceitáveis.

#### **5.1**

##### **Procedimentos preliminares**

Antes da realização dos experimentos toda a seção de testes era esvaziada, limpa e preenchida com água filtrada. A válvula na sucção da bomba era fechada e em seguida o tanque inferior era preenchido com 130 litros de água filtrada. Para a realização dos experimentos com polímero, o passo seguinte era a diluição da solução de polímero concentrado no tanque inferior. Este procedimento será descrito adiante.

Os procedimentos para a realização das medidas com água pura ou água com polímero eram bastante semelhantes. A grande diferença era que, devido à possibilidade de degradação do polímero com o tempo, a realização das medidas era feita do modo mais rápido possível.

Após a preparação do fluido no tanque inferior, a válvula do tanque era aberta, permitindo o escoamento do fluido do tanque para a bomba. Em seguida, a bomba era acionada preenchendo tanque superior. Parte do fluido deste tanque escoava pela seção de testes retornando ao tanque inferior e parte retornava ao tanque inferior pelo ladrão do tanque superior de forma a manter o nível do tanque superior constante.

Em seguida, a vazão correspondente ao experimento a ser realizado era ajustada por meio do controle da válvula de saída da seção de testes. Para isso, os parafusos da placa de controle de vazão eram ajustados até que a leitura do medidor de vazão indicasse a vazão desejada. Um período de tempo era aguardado até que o plástico da mangueira comprimida pelo parafuso da válvula se acomodasse. Após este período, era realizado um ajuste fino na vazão até o valor desejado ser alcançado.

Após a estabilização da vazão indicada pela leitura do medidor de vazão, a rotação da bomba era reduzida continuamente até que a vazão de retorno pelo ladrão se reduzisse a um pequeno filete. Desta forma garantia-se estar trabalhando com a menor vazão possível que produzia nível constante no tanque superior e que, ao mesmo tempo, acarretava em menor vazão de solução de polímero pela bomba, minimizando o problema de sua degradação por cisalhamento na bomba.

## **5.2 Preparação do polímero**

A solução de polímero e água a ser utilizada nos experimentos era preparada a partir de uma solução concentrada a 1000ppm. A solução concentrada era preparada em um becker diluindo-se 2,6g do polímero em 2,6 litros de água deionizada, misturados suavemente por 2 horas. Esta solução era deixada em repouso em recipiente fechado por 24h para que ficasse completamente homogênea.

A solução utilizada nos testes tinha concentração de 20 ppm. Como o volume da seção de testes era de 130 litros, os 2,6 litros de polímero na concentração de 1000ppm quando misturados à água contida na seção de testes produziam exatamente a concentração desejada de 20 ppm.

A diluição da solução concentrada na água da seção de testes era realizada após o enchimento do tanque inferior com água. A solução de polímero era gentilmente despejada no tanque e misturada suavemente por alguns minutos até que estivesse completamente homogeneizada. Neste ponto a solução estava pronta para o início do experimento.

Apesar dos cuidados durante o projeto da seção de testes a degradação do polímero não pode ser evitada. Portanto, a preparação para cada novo experimento envolvia a limpeza da seção de testes com água e a preparação de uma nova solução de polímeros.

Experimentos preliminares mostraram que a degradação inicial do polímero é muito intensa, portanto, antes do início da aquisição de dados, foi necessário aguardar a estabilização. Este tempo é dependente da vazão do experimento e deve ser estimado com base na variação da redução de atrito e na duração estimada do experimento.

### 5.2.1 Medição da viscosidade

A adição do polímero, apesar da baixa concentração, pode alterar algumas propriedades físicas do solvente. Portanto, foi necessário traçar a curva de viscosidade x temperatura para o solvente e para a solução. Adicionalmente foram traçadas as curvas de densidade x temperatura.

As curvas da viscosidade e densidade da água e da solução polimérica para 20ppm em função da temperatura foram obtidas utilizando um viscosímetro Cannon-Fenske. Para a obtenção dos pontos, foi colocado um volume de fluido (aproximadamente 7 mL) na parte com as duas variações de diâmetro. O viscosímetro então é colocado no banho térmico. Espera-se a temperatura estabilizar (aproximadamente um dia) e a seguir faz a medição que consiste em medir o tempo que o fluido leva para se deslocar entre as marcações (distância entre as duas seções de diâmetros diferentes) e faz-se o cálculo da viscosidade. Cada medida é feita em um dia diferente para que o banho estabilize a temperatura. A Figura 5.1 apresenta a curva de viscosidade medida.

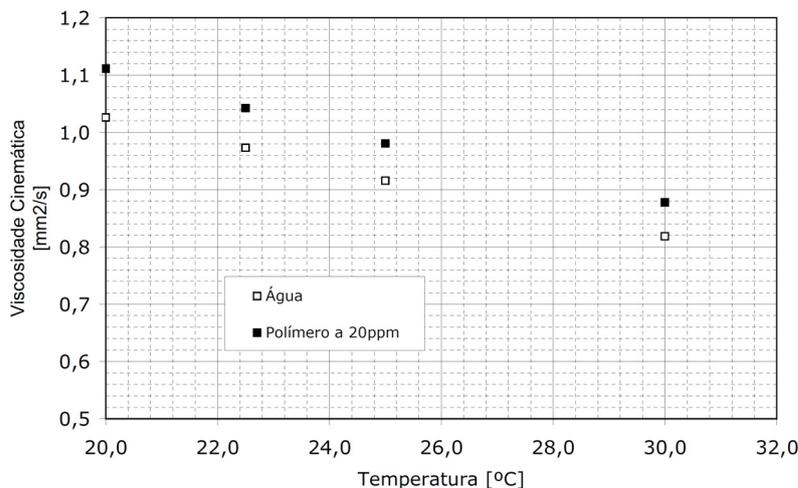


Figura 5.1 – Curva de viscosidade x temperatura para o solvente puro e para a solução do polímero superfloc A110 a 20ppm.

### 5.3 Partida da bomba

Antes da partida a válvula na sucção da bomba era aberta e o *vent* na caixa de entrada fechado. Checava-se todos os drenos garantindo que estavam fechados. O inversor de frequência era programado para em torno de 20Hz e então era dada a partida na bomba.

Com o início da circulação do fluido pela seção, checava-se a presença de vazamentos. Em seguida o *vent* da caixa de entrada era aberto para que o nível do fluido estivesse acima do bocal de entrada evitando a entrada de bolhas de ar no tubo da seção de testes. Quando o fluido atingia o nível desejado o *vent* era novamente fechado.

Até este ponto o nível do tanque superior ainda não atingiu o ladrão pois a rotação da bomba ainda é baixa. Como dito anteriormente, antes do início dos experimentos é necessário garantir que o tanque superior esteja cheio com fluido voltando pelo ladrão. Nesta condição tem-se a garantia de que o nível no tanque superior está constante o que manterá a vazão estabilizada. Para que o processo de enchimento da seção e do tanque superior seja mais rápido, é recomendado aumentar a rotação da bomba, aumentando a vazão de bombeio. Portanto, o próximo passo era elevar a rotação da bomba (38Hz) até que seja observado o retorno de parte do fluido pelo ladrão.

#### **5.4 Procedimento para calibração das imagens.**

Como já mencionado anteriormente, a técnica PIV estereoscópica foi utilizada na medição dos campos instantâneos de velocidade na seção de testes. Também como já mencionado, esta técnica requer que um procedimento de calibração das imagens seja conduzido de modo a permitir a determinação do campo de velocidade tri-dimensional na seção transversal do tubo.

O procedimento de calibração utilizado no presente trabalho foi realizado de acordo com os procedimentos de calibração implementados no programa INSIGHT 3G da TSI. Para isso um alvo circular com diâmetro externo ligeiramente menor que o diâmetro interno do tubo de acrílico foi fabricado em alumínio. Sobre a face do disco foi colada um disco circular de papel fotográfico sobre o qual foi impresso um padrão de pontos utilizando impressora a laser. Sobre o papel foi colado um disco de papel adesivo transparente (papel Contact) de modo a impermeabilizar a impressão. Os pontos brancos do alvo apresentavam espaçamento uniforme nas direções horizontal e vertical.

Em princípio o procedimento de calibração deve ser realizado com o alvo dentro do tubo de acrílico onde se dá o escoamento. No entanto, no presente caso, considerou-se inviável a desmontagem da válvula de controle de vazão para a introdução do alvo na região de medição, sem que o tubo de acrílico se movesse, mesmo que apenas alguns décimos de milímetros, em relação às

câmeras, o que invalidaria o procedimento de calibração. Por esta razão optou-se por realizar uma calibração externa, com o alvo posicionado fora da seção de testes principal.

A calibração externa foi implementada a partir da construção de uma caixa de visualização octogonal com dimensões exatamente iguais às da caixa de visualização montada em torno do tubo de acrílico e apresentada na Figura 4.2. Esta caixa de visualização auxiliar era atravessada por um trecho do mesmo tubo de acrílico usado nos testes. Esta caixa auxiliar foi montada sobre a caixa de visualização principal, sendo precisamente posicionada com o auxílio de pinos guia. Após a montagem, o trecho de tubo de acrílico na caixa auxiliar ficava paralelo ao tubo de acrílico por onde escoava o fluido de trabalho. O plano de luz laser incidindo pela parte inferior da caixa de visualização principal, incidia também na parte inferior da caixa auxiliar saindo por sua parede superior horizontal.

O processo de calibração era iniciado pelo posicionamento do alvo de calibração dentro do tubo da caixa auxiliar. A fonte laser era ligada e a face do alvo contendo as marcas de referência era perfeitamente alinhada com o plano de luz. Em seguida, o tubo auxiliar era tampado e preenchido com água. Duas válvulas instaladas no tubo permitiam seu enchimento e a retirada do ar. O espaço interior da caixa de visualização auxiliar era também preenchido com água. O laser era desligado e luz fria convencional de uma luminária era utilizada para iluminar a face do alvo, buscando sempre uma boa uniformidade na iluminação da face do alvo no plano de luz laser.

Após ajuste do foco, uma imagem do alvo era registrada por cada câmera. Em seguida, as câmeras montadas sobre uma mesa de coordenadas eram deslocadas na direção oposta ao alvo de uma distância de 0,5 mm. Nesta posição mais uma imagem de cada câmera era registrada. As câmeras eram então movimentadas de 0,25 mm em direção ao alvo e mais duas imagens eram registradas. Ao todo, 5 pares de imagens foram obtidas para diferentes posições axiais das câmeras em relação ao alvo. Estas imagens eram lidas pelo programa INSIGHT 3G que determinava o polinômio de calibração de terceira ordem usado na distorção das imagens.

Após a aquisição das imagens necessárias para a calibração, a mesa de coordenadas era movimentada para a posição inicial com foco no plano do laser. Em seguida, a mesa de coordenadas era movimentada na direção vertical para baixo de modo que as câmeras focalizassem a seção reta do tubo onde se daria

o escoamento. O deslocamento vertical era calculado para que o centro da imagem coincidisse com o centro do tubo da seção de testes.