

3 Procedimento e Montagem Experimental

O presente projeto teve como objetivo o estudo dos mecanismos de deposição de parafina sob escoamento da mistura parafina em querosene, onde a deposição seria estudada por visualização. A seção de teste usada neste trabalho foi construída em 2007 com o objetivo de seguir com experimentos já realizados no laboratório por Leiroz et al. [14] e Plasencia et al [20]. Estes experimentos eram realizados em seções de teste menores, com 30 cm de comprimento, e em cavidade estagnada. A atual possui 1.5 metros de comprimento. A proposta é medir deposições em distâncias da entrada maiores e sob número de Reynolds mais elevados. Em todos os experimentos utilizou-se a mistura querosene (grau técnico) com parafina refinada, preparada no laboratório.

3.1 Montagem Experimental

Seguindo-se a filosofia de realizar experimentos simples que nos permitam avaliar os mecanismos de deposição de parafina. O estudo foi começado sob escoamento laminar que é mais simples para depois passar a escoamento turbulento. A atual seção de teste possui 1.5 metros de comprimento. A proposta é poder-se medir deposições num comprimento maior e com uma distância de desenvolvimento de escoamento mais longa. A medição foi feita por visualização de depósito, e por isso a geometria foi projetada em vidro transparente. Além disso, nas extremidades foi usado acrílico.

A seção de teste é composta por uma bomba de cavidade progressiva, um reservatório de alimentação para a bomba, um aquecedor, quatro banhos termostáticos, uma mesa Velmex, um microscópio e um canal retangular. A Figura 3.1 mostra-se esquematicamente a disposição da seção de teste usada. Em seguida serão descritos em detalhe cada uma das características e funções dos diferentes componentes mencionados.

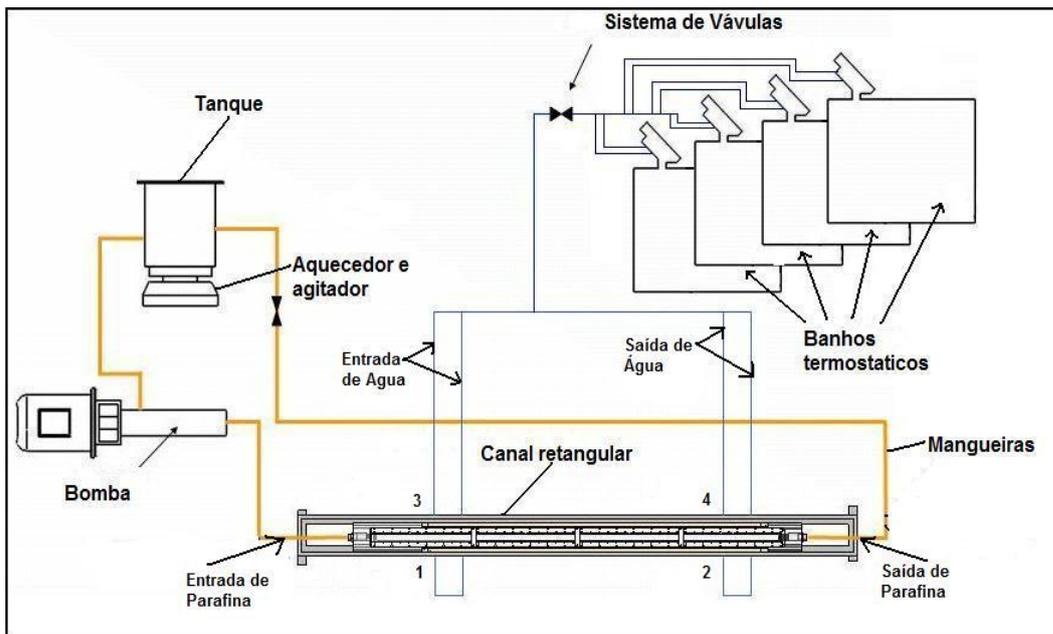


Figura 3.1: Disposição esquemática da seção de teste

A parte principal da seção de teste é o canal retangular. O canal possui dimensões internas de 20 x 8 x 1000 mm (w x h x L). As duas paredes laterais de cobre são idênticas e funcionam como aletas condutoras de calor. A temperatura nas aletas é controlada por um circuito de água interno a cada aleta. Dentro de cada parede de cobre existem dois tubos de cobre, onde circula água proveniente de banhos termostáticos. A Figura 3.2 ilustra a seção retangular. Composta de dois blocos de cobre laterais, ela é fechada por duas tampas horizontais de vidro com 4 mm de espessura cada tampa superior e inferior, para permitir uma boa visualização da deposição. As tampas do vidro são presas sob pressão no bloco de cobre por intermédio de placas de cobre, finas e longas (cobrem todo o comprimento do canal). A extremidade inicial e final do cobre é aparafusada lateralmente em dois blocos de acrílico, um no início e outro no final do canal. Adicionalmente, as duas peças de acrílico foram montadas para uma maior rigidez e garantir a visualização do escoamento antes e depois da região de deposição de parafina. Na Figura 3.3 a 3.6 mostram-se os planos de desenho de acrílico, as paredes de cobre e suas partes e a montagem do canal com duas peças de acrílico.

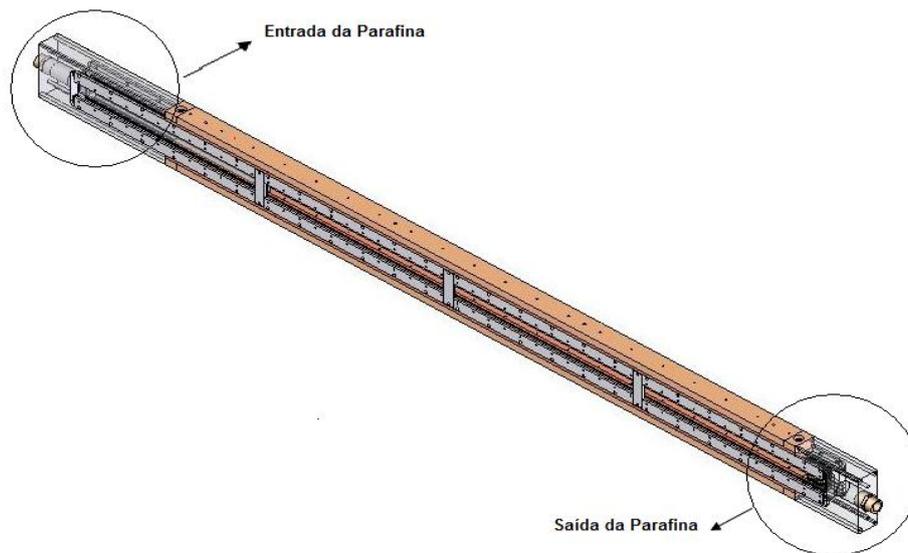


Figura 3.2: Ilustração da seção retangular composta de dois blocos de cobre laterais

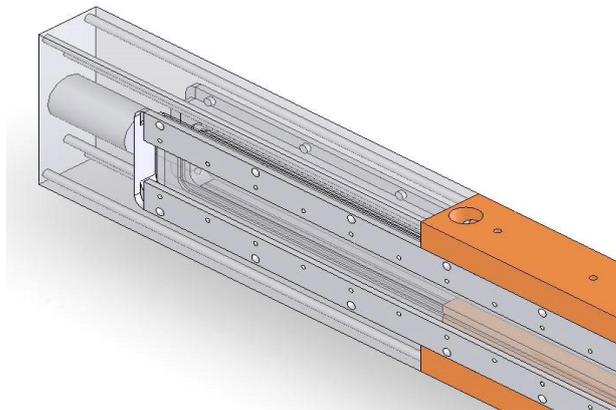


Figura 3.3: Vista isométrica deacrílico e as paredes de cobre no início.

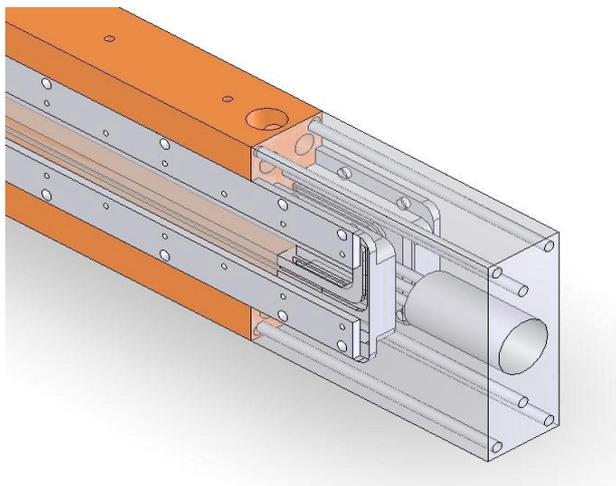


Figura 3.4: Vista isométrica deacrílico e as paredes de cobre no final.

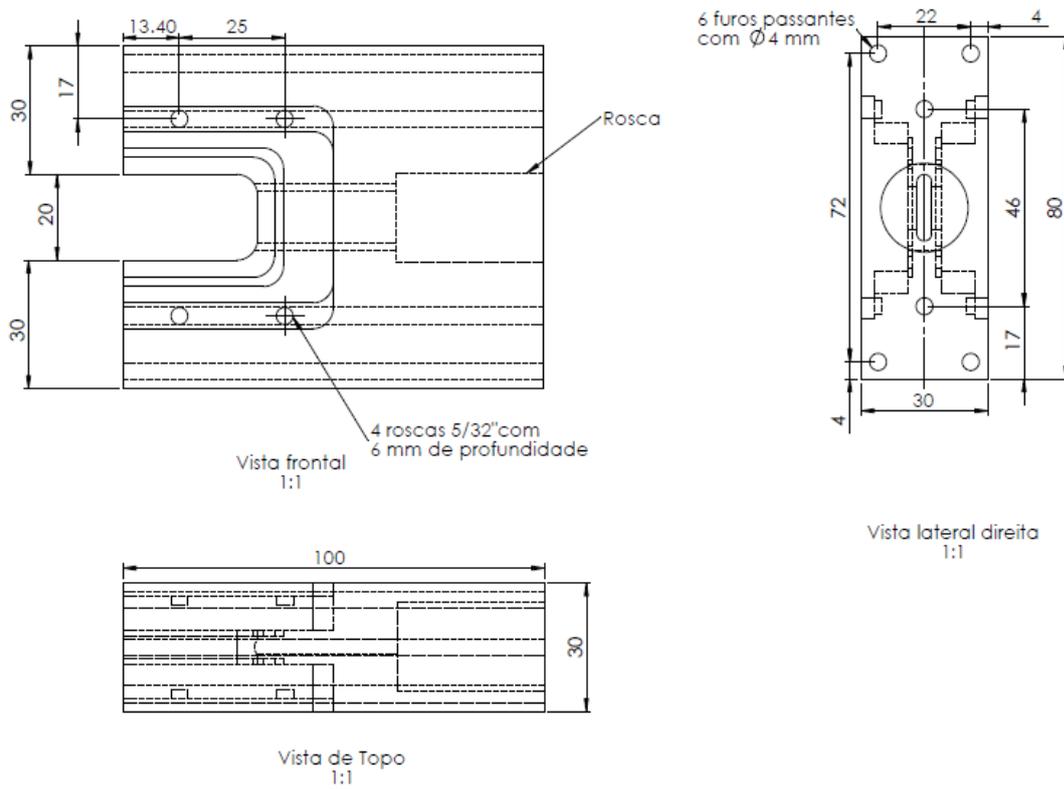


Figura 3.5: Desenho da peça de acrílico na saída do canal

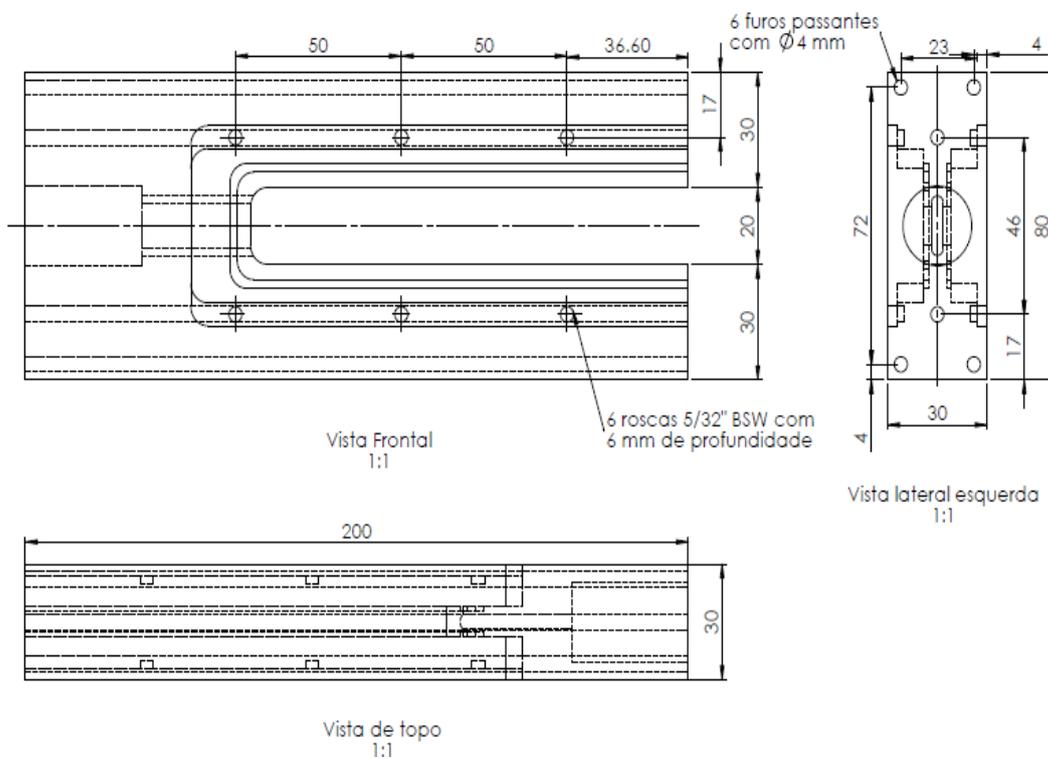


Figura 3.6: Desenho da peça de acrílico na entrada do canal

O reservatório era outro componente importante, este foi utilizado para alimentar e armazenar e homogeneizar a solução parafinica para as diferentes experiências, mediante a ajuda de um agitador Fisatom, modelo 754A. Uma vez inserida a solução de parafina no experimento, ela é mantida dentro de um reservatório cilíndrico de aço inoxidável. O reservatório é aquecido durante todo o experimento, por uma placa térmica Fisatom. Os detalhes da construção do tanque serão mostrados nas Figuras 3.7 a 3.8. Para transportar a mistura por todo o circuito são usados tubos de borracha isolados de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro interno. Para que se mantenham aquecidas, as mangueiras foram enroladas em fitas de aquecimento elétrico. O variador de tensão Auge com uma saída de 0-110-140 Volts e potência máxima de 2100 watts foi utilizado. Além disso, as fitas térmicas foram envolvidas em malha de lã.

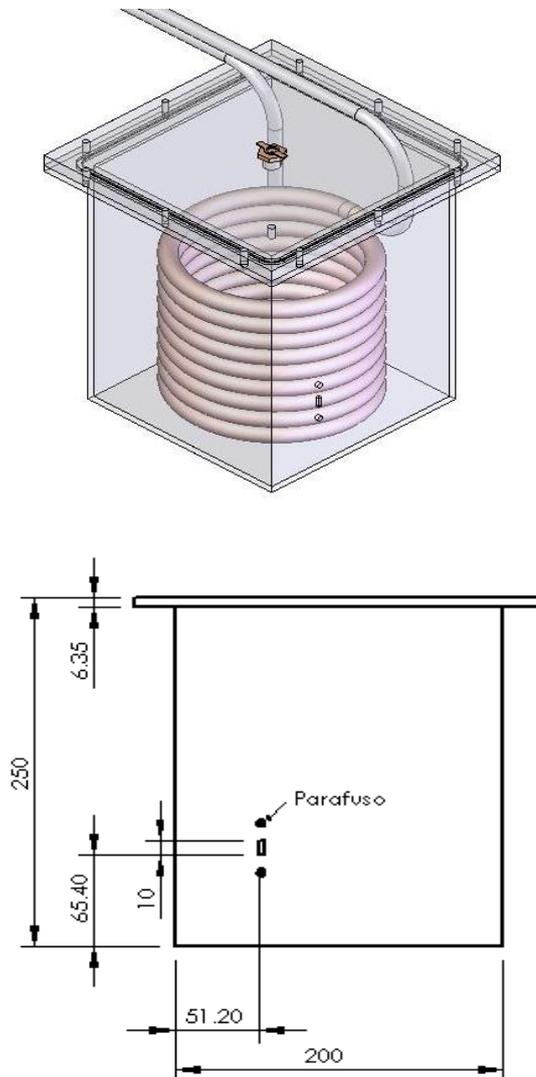


Figura 3.7: Vista isométrica e lateral do reservatório de armazenamento

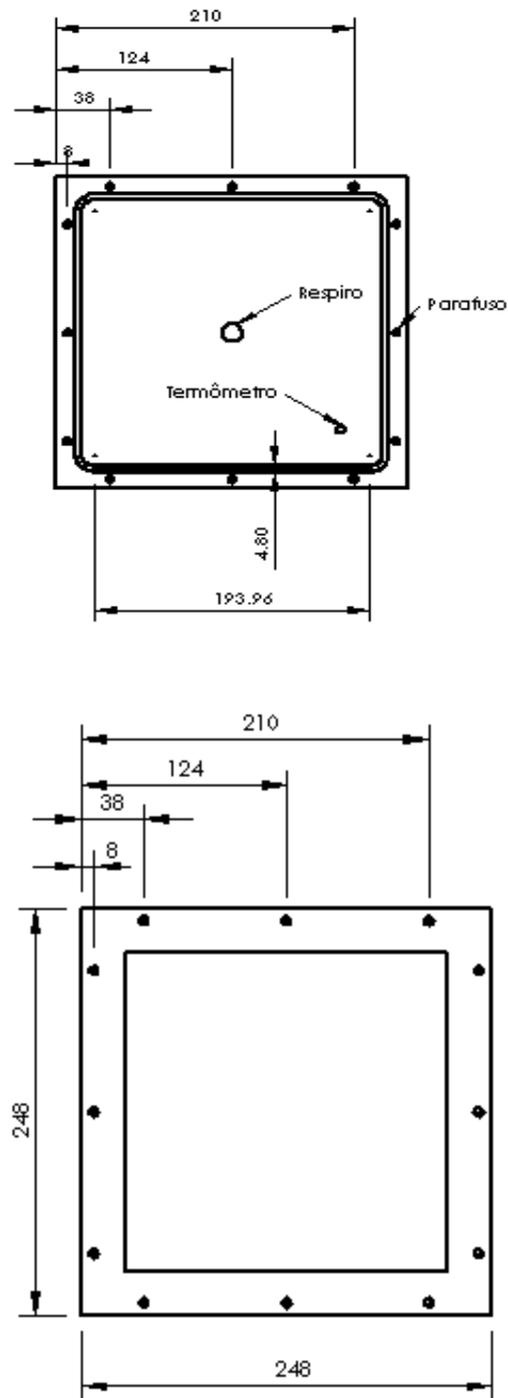


Figura 3.8: Vista do topo e tampa do reservatório de armazenamento.

Esta solução é bombeada do reservatório para a seção de teste por uma bomba de cavidade progressiva modelo NMO15BY01L06B da marca NETZSCH. Este tipo de bomba foi escolhido por gerar vazões volumétricas constantes e ter potência suficiente para atingir escoamentos turbulentos. Além disso, foi utilizado um inversor de frequência, da marca Weg, serie CFW-08, para controlar a vazão da bomba. O inversor de frequência pode variar a frequência na faixa de 0 a 60

Hz, com uma resolução mínima de 0,01 Hz. A bomba foi montada em uma mesa separada, para evitar as vibrações que possam prejudicar a visualização da deposição de parafina. A curva de vazão da bomba em função da frequência do inversor pode ser encontrada no Apêndice A.2.

O aquecimento e resfriamento das paredes de cobre foram feitos por meio de 4 banhos térmicos. Os banhos foram pilotados por meio de um mini circuito hidráulico formado de tubos poliflow®, válvulas tipo globo e conexões tipo T. O fluido proveniente de banhos termostáticos entra nos tubos de cobre laterais nas posições 1 e 3, e sai pelas posições 2 e 4 da Figura 3.1. O banho termostático K-10, funcionando à temperatura quente de 40 °C pode alimentar as duas paredes de cobre, de cada lado da seção de teste, ao mesmo tempo. Os banhos Haake C25P operando a temperatura fria de 13°C, onde cada um alimenta unicamente uma parede cobre, e o banho refrigerador Endocal ULT-80 operando a temperaturas geladas -10 °C. É importante reparar que no banho gelado foi necessária a utilização de uma mistura 50% água, 50% álcool comercial, para evitar o congelamento do fluido no interior do reservatório do banho. As Figuras 3.9 e 3.10 são apresentadas para um melhor entendimento da seção de teste. Pode-se visualizar o microscópio posicionado no canal retangular.

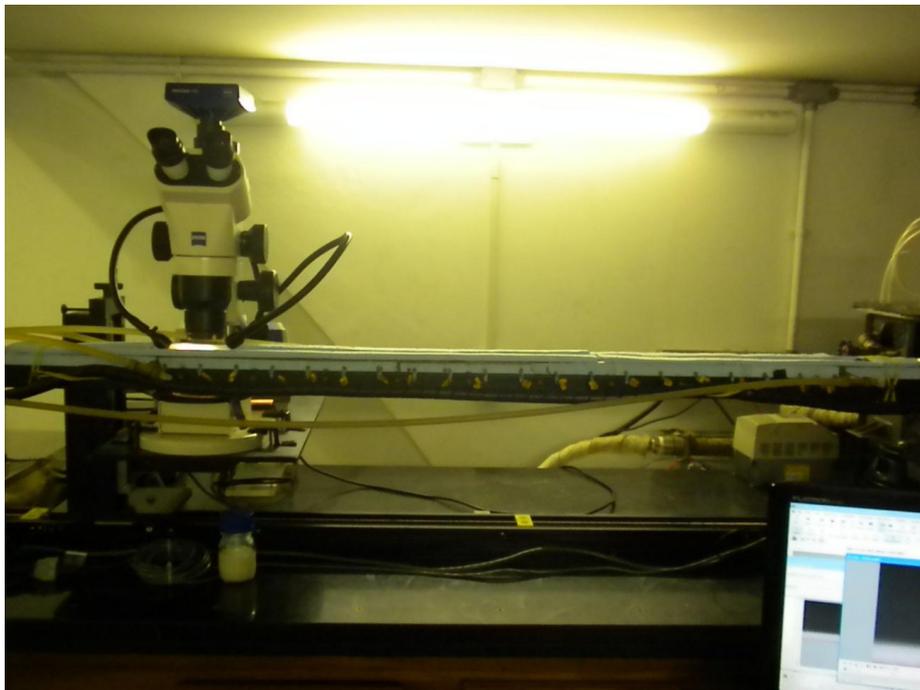


Figura 3.9: Imagem frontal da seção de teste.



Figura 3.10: Imagem lateral da seção de teste.

3.1.1 Controle e Medição da Temperatura

Durante os testes realizados, mediu-se a distribuição da temperatura no comprimento do canal. Assim, cada parede lateral de cobre foi usinada com 20 pequenos furos para a instalação de termopares. Foram usados 20 termopares tipo E de cada lado. Como forma de proteção dos termopares, foram utilizadas agulhas hipodérmicas com 1.5 mm de diâmetro, envolvendo-os. Molhadas em pasta térmica, essas agulhas foram introduzidas nos pequenos furos de cobre, para monitorar as temperaturas na interface entre o cobre e o fluido no interior do canal. Cada 10 termopares possuem um termopar de referência. Cada referência é mergulhada numa garrafa térmica mantida gelada (gelo + água deionizada). Além disso, existem termopares instalados na entrada e na saída do canal, para monitorar suas temperaturas. Foram instalados um total de 42 termopares, As Figuras 3.11 e 3.12 exibem a disposição dos termopares na seção de teste.

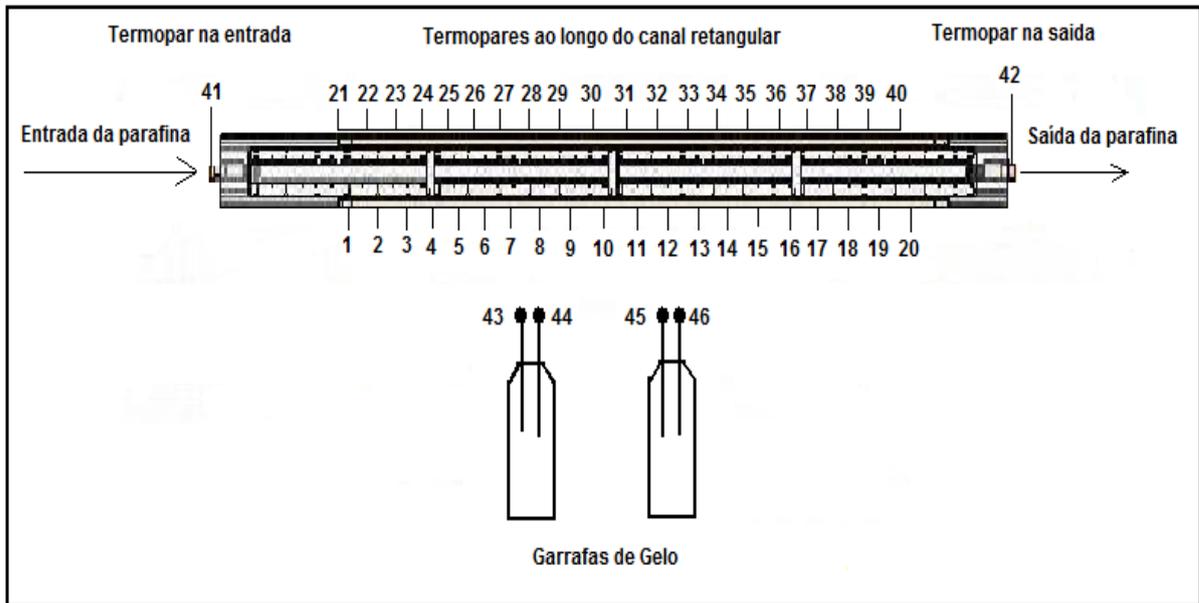


Figura 3.11: Diagrama da localização dos termopares.



Figura 3.12: Imagem da disposição dos termopares na seção de teste

Os termopares utilizados foram conectados a uma placa de aquisição de dados da marca Agilent modelo 34970A. A placa por sua vez foi conectada ao programa LABVIEW version 7.1 – National Instruments - para armazenamento direto dos dados de temperatura do canal, permitia armazenar as leituras em intervalos de tempo de 10 segundos o que foi adequado para o levantamento de

perfil de temperatura do fluido no canal durante o resfriamento das paredes de cobre tanto em regime transiente e permanente.

3.1.2 Solução de Parafina

A amostra utilizada nos experimentos foi uma solução de 15% (em massa) de parafina comercial da marca Vetec com um ponto de fusão na faixa de 56 a 58 °C. O solvente utilizado foi o querosene desodorizado grau técnico. A mistura foi pesada e em seguida aquecida e homogeneizada sob uma placa aquecida. Para essa porcentagem de parafina determinou-se uma TIAC de 28.7 °C. A Figura 3.13 mostra-se a solução de parafina. Detalhes da medição da TIAC são apresentada no Apêndice A.1.



Figura 3.13: Imagem da mistura parafina-querosene.

3.1.3 Sistema de Visualização e Processamento de Imagens

Para ter um bom acompanhamento e boa visualização do depósito foi utilizado um microscópio óptico da marca Carl ZEISS, modelo STEMI 200-C, onde foi instalada uma câmera AXIOCAM MRC, igualmente da marca Carl ZEISS. Uma fonte de luz modelo KL 1500 LCD, foi utilizada junto ao microscópio para auxiliar na visualização do depósito. No processamento das imagens foi utilizado o programa Axiovision Rel 4.4 da ZEISS.

Este aparato foi todo montado em uma mesa de coordenadas x , y , z , como ilustrado na Figura 3.14 as coordenadas z e y – radial e vertical - são movimentadas por micrômetros, já a coordenada x – axial - é movida por uma mesa Velmex, monitorada pelo computador. O microscópio tem zoom de 0.65 a 5, o que equivale a aumentos de 32.5x a 225x. A Figura 3.14 ilustra o microscópio posicionado sob a seção de teste e suas coordenadas. Imagens são geradas com uma certa frequência de aquisição. A frequência utilizada foi de 10 segundos na primeira meia hora, e 10 minutos nas duas horas que seguem. A Figura 3.15 ilustra uma imagem típica de depósito mostrada pelo programa Axiovision Rel 4.4 da ZEISS.

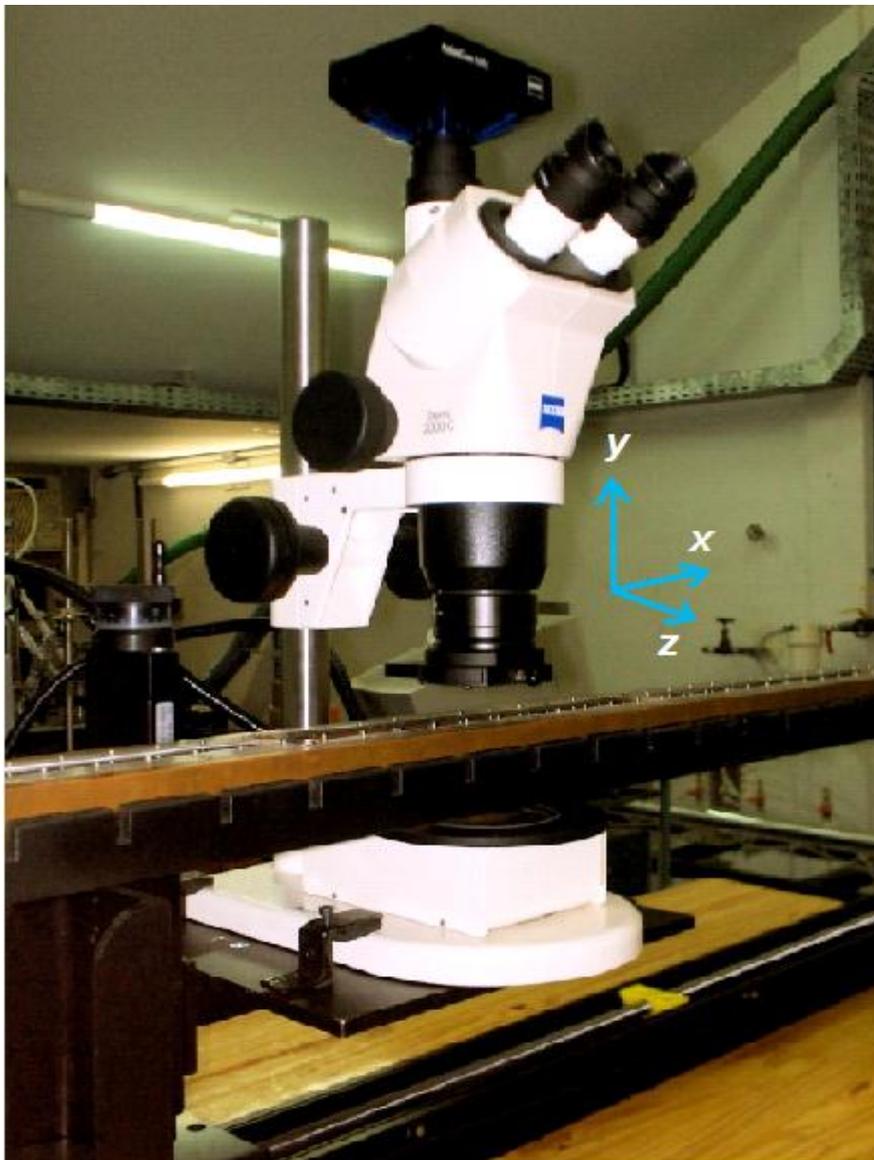


Figura 3.14: Microscópio posicionado sob a seção de teste.

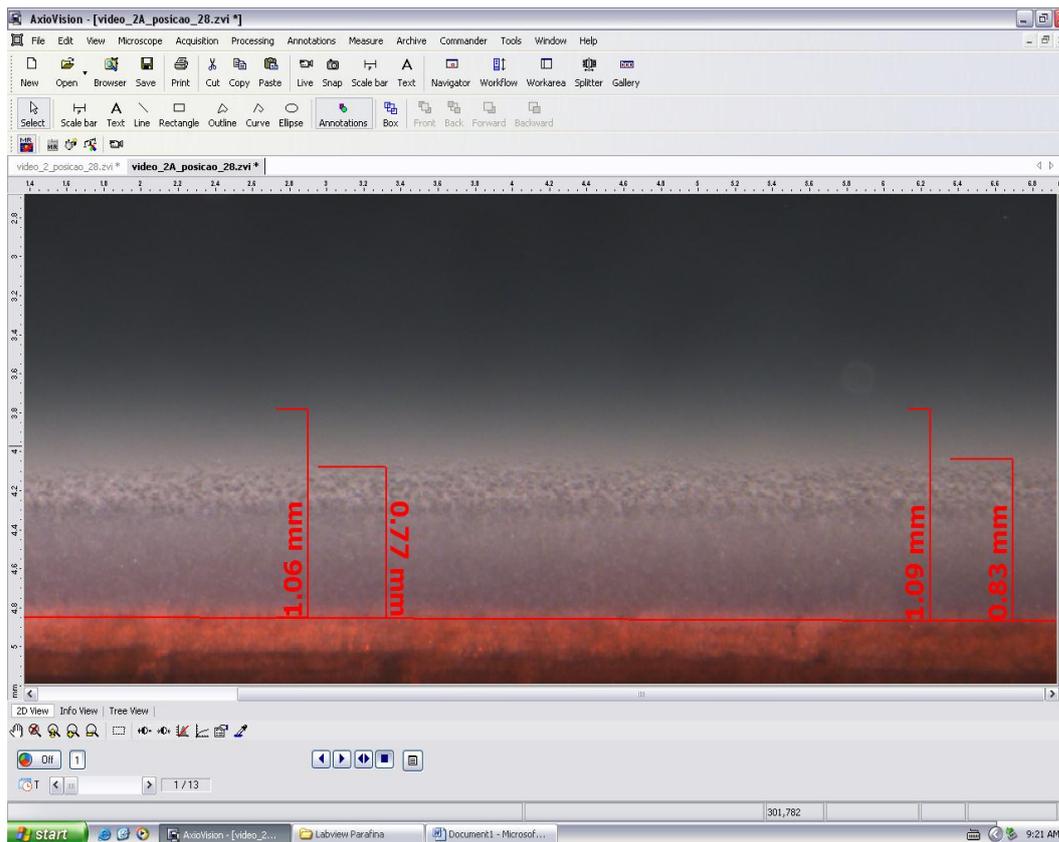


Figura 3.15: Processamento com o programa de computador Axiovision Rel 4.4.da Zeiss

3.2 Procedimento Experimental

No presente trabalho foi operado o teste de deposição de parafina em condições de escoamento a diferentes números de Reynolds iguais a 1660, 4400, 5650, 6900. Foi desenvolvido um procedimento experimental simples e sob condições de teste controladas. Utilizando o aparato descrito anteriormente, o procedimento experimental foi realizado como é descrito em seguida.

A solução de 15% em massa de parafina é preparada e utilizada durante até um mês de testes. (Considerou-se, depois de alguns testes de viscosidade e massa específica, que os efeitos da repetição dos testes nas propriedades da solução são pouco significativos para um mês de teste). Sempre que um experimento é realizado, primeiro derrete-se e homogeneiza-se a solução de parafina no reservatório. A parafina solidificada dentro do canal retangular é aquecida por meio do circuito de água que circula pelas paredes de cobre; o banho quente, K-10, é mantido a 40°C durante os testes. Ligam-se também as

resistências distribuídas ao longo das mangueiras e do rotor da bomba para derreter a solução solidificada que aí se encontra. A temperatura ao longo do canal é então homogeneizada a 40 °C, valor acima da TIAC. Depois de garantir que a solução de parafina foi liquefeita em todo o canal e adjacências, e que as temperaturas encontram-se constantes ao longo da seção de teste, aciona-se a bomba na vazão desejada.

A captura de imagens é iniciada. Em seguida conecta-se o banho gelado ULT-80, a -10°C, para gerar um degrau de temperatura nas paredes de cobre. Quando a temperatura do primeiro termopar do canal chega a aproximadamente 15°C, o banho gelado é desconectado e os banhos termostáticos C25P Haake frios são acionados. Estes banhos foram mantidos, durante todo o processo, a 13°C este devido a que fluido gana calor do meio externo ao redor de 2 °C. O objetivo é que as paredes de cobre do canal se mantenham a 15 °C, em regime permanente. É importante destacar que esse valor de 15 °C foi escolhido para que a diferença de temperatura entre a parte de início e final do canal fosse minimizada. Este limite permite ter uma temperatura mais uniforme ao longo do comprimento do canal. Além disso, este limite permite reduzir o efeito da deposição por gradiente de temperatura nas paredes superior e inferior do canal.

É importante notar que mesmo usando um banho térmico a -10°C no início do teste para produzir uma rampa térmica, a vazão deste banho não foi suficiente para que uma rampa homogênea fosse atingida. Na realidade, temperatura ao longo de toda a superfície lateral do canal leva aproximadamente 10 minutos para ficar constante. Por isso, no início do resfriamento das paredes laterais internas do canal, as temperaturas nas posições iniciais permanecem menores do que nas finais.

Os testes foram realizados inicialmente durante duas horas e meia. Foram feitas imagens com frequência de 10 segundos na primeira meia hora, e 10 minutos nas duas horas que seguem. Este procedimento foi repetido para 24 posições. A Figura 3.16 ilustra as posições onde foram visualizadas as espessuras de depósito ao longo do canal. O espaçamento entre as posições foi menor no início do canal, considerando que aí existe maior variação longitudinal na espessura do depósito (transiente de deposição).

Os aumentos utilizados no microscópio foram de 32x e 50x. Sob regime laminar utilizou-se apenas um aumento de 32x. Já para escoamento turbulento utilizou-se um aumento de 50x em todas as posições, exceto em 1, 2, e 3, onde foi usado um zoom de 32x. Aumentamos o *zoom* para escoamento turbulento devido à espessura de depósito neste caso ser menor. Porém nas posições iniciais desejou-se ter maior campo de visão para visualizar todo o transiente no canal.

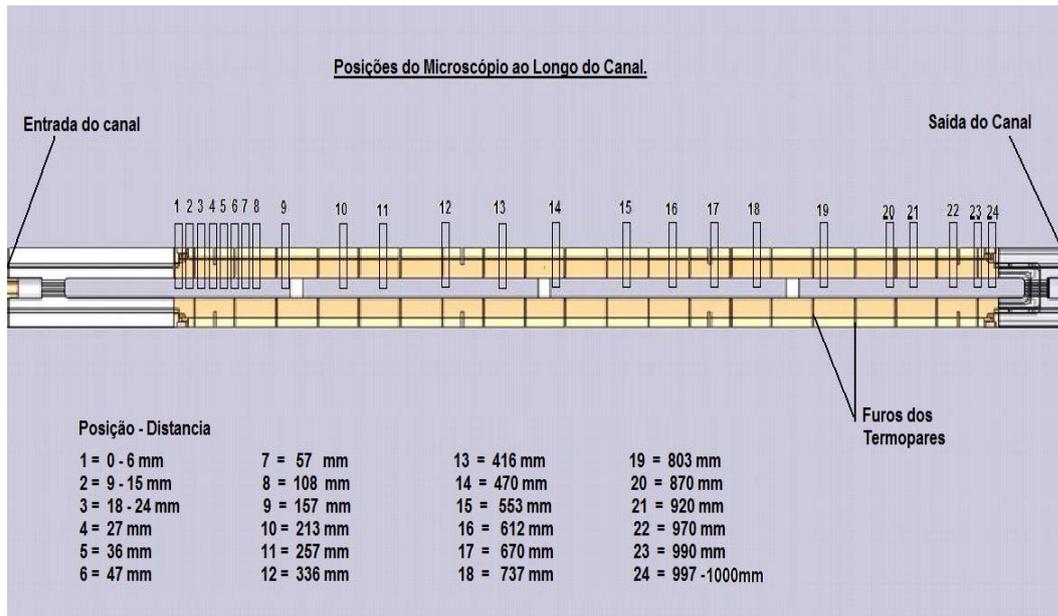


Figura 3.16: Ilustração das posições de visualização das espessuras de depósito ao longo do canal.

Para a realização de um novo teste, água quente era circulada pelas paredes de cobre até que toda a parafina fosse derretida, para a realização de cada experiência sempre foram garantidos a homogeneidade da solução e o regime permanente do escoamento mediante o controle das diferentes temperaturas medidas na seção de teste.