

2

Metodologia Experimental

2.1

Fluidos

Os fluidos não newtonianos utilizados foram a poliacrilamida e a goma xantana. Soluções poliméricas, mesmo em baixas concentrações, comportam-se como fluidos não newtonianos, usualmente pseudoplásticos. Enquanto os polímeros naturais à base de xantana apresentam uma estrutura rígida e um comportamento pseudoplástico inelástico, soluções à base de poliacrilamida, polímero sintético, mostram um comportamento elástico, viscoelástico. Já o fluido newtoniano utilizado foi um óleo mineral medicinal do laboratório farmacêutico União Química.

A concentração ideal de cada fluido não newtoniano deu-se devido à necessidade de se visualizar experimentalmente os padrões de formações de *fingers* e *plug* sem modificar as dimensões da célula de Hele-Shaw, diante dessa necessidade concluiu-se que a concentração ideal era de 0,25% de poliacrilamida em solução aquosa e de 0,40% de goma xantana em solução aquosa, ambas sem bactericidas.

2.2

Bancada experimental

O projeto aqui presente é uma continuação da tese de mestrado de Priscilla Varges (41).

O estudo de injeção de fluidos, um newtoniano e outro não newtoniano, em uma célula de Hele-Shaw apresentou muitas dificuldades. Foram necessários anos de estudo para a construção de uma bancada experimental que atendesse todas as necessidades. Diante dessa dificuldade não foram encontrados na literatura trabalhos sobre a célula de Hele-Shaw com o enfoque no deslocamento de líquido/líquido sendo um deles não newtoniano. A maioria dos trabalhos encontrados sobre escoamento em células de *Hele-Shaw*, utilizando dois líquidos nessas condições, é numérico.

Até a construção da bancada atual foram elaboradas oito bancadas anteriores (as seis primeiras já foram mencionadas na tese de Priscilla Varges

(41)). Da Figura 2.1 a 2.8 pode-se conferir a evolução da construção da célula de *Hele-Shaw*. Essas funcionavam com o par de fluidos newtonianos óleo e glicerina, usados na validação da bancada experimental, e com o par de fluidos óleo e ar, porém ao mudar o par de fluidos para os não newtonianos (óleo mineral- poliacrilamida e óleo mineral-goma xantana) os resultados não eram conforme esperado.

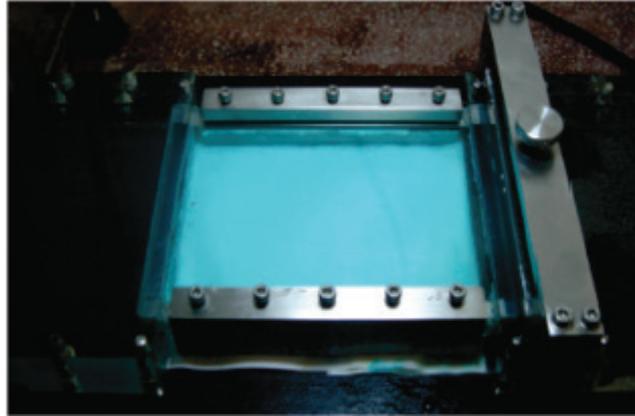


Figura 2.1: Primeira versão da célula de *Hele-Shaw*.

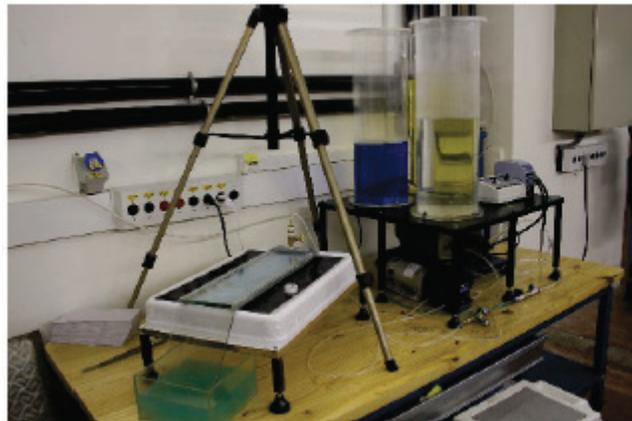


Figura 2.2: Segunda versão da célula de *Hele-Shaw*.



Figura 2.3: Terceira versão da célula de *Hele-Shaw*..

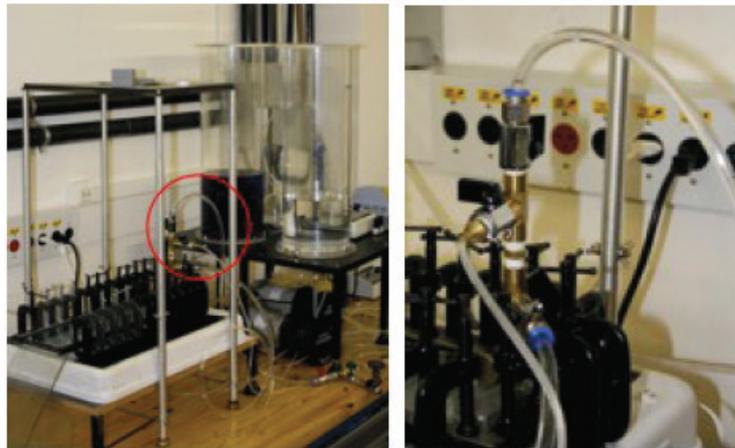


Figura 2.4: Quarta versão da célula de *Hele-Shaw*..



Figura 2.5: Quinta versão da célula de *Hele-Shaw*..

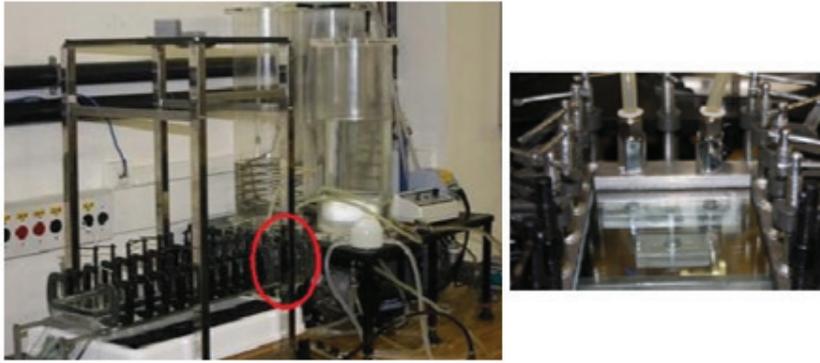


Figura 2.6: Sexta versão da célula de *Hele-Shaw*.

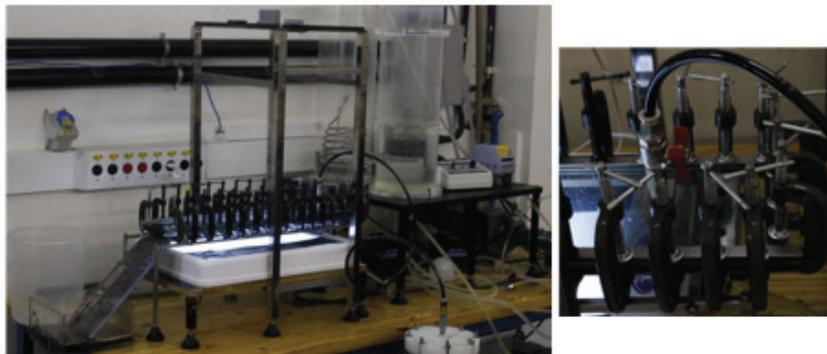


Figura 2.7: Sétima versão da célula de *Hele-Shaw*.

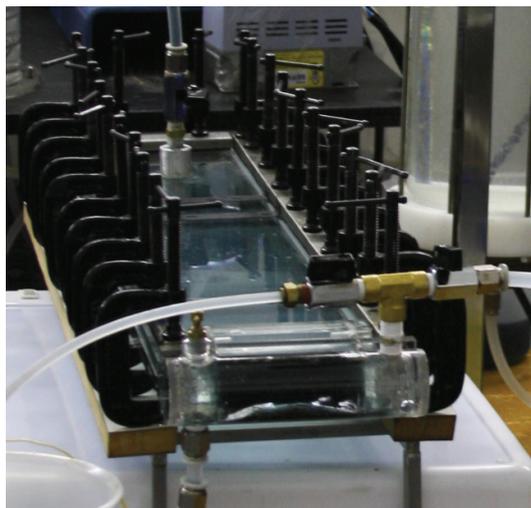


Figura 2.8: Oitava versão da célula de *Hele-Shaw*.

As células de *Hele-Shaw* anteriores apresentaram muitos problemas, dos quais podemos destacar:

1. Vazamentos decorrentes da má vedação, resultante da dificuldade de encontrar maneiras simples, porém eficazes, de realizar a mesma;
2. Fissuras nos vidros em razão da alta viscosidade dos fluidos não newtonianos e das altas vazões. Foi necessária a fabricação de vidros temperados, que além de serem mais resistentes são menos perigosos caso venham a quebrar;
3. Influência dos furos de injeção na forma da interface do escoamento entre os dois fluidos, já que os mesmos estavam nos vidros;
4. Influência da gravidade no escoamento, tendo em vista que a injeção era na vertical, ocasionando o escoamento involuntário que provocava a mistura entre os fluidos.

Diante de todos os problemas mencionados acima mais uma célula precisou ser projetada.

Essa nova célula é composta por dois pares de vidros temperados de dimensões 150 mm x 700 mm x 6 mm, sem furos, separados por quatro fitas de poliéster de dimensões 15 mm x 700 mm x 0,35 mm cada. Foram utilizadas duas fitas em cada lado para garantir uma distância fixa de 0,70 mm entre as placas de vidro (Figura 2.9). Essas dimensões foram definidas para garantir um escoamento bidimensional, ou seja, o escoamento não ocorre na vertical impossibilitando que um fluido sobreponha o outro, e assegurando a mínima influência das paredes. Para pressionar um vidro contra o outro e garantir a vedação foram utilizados vinte grampos C, dez em cada lado, equidistantes e posicionados na mesma direção. Pelo fato do vidro ser um material resistente, porém frágil, ao distribuir os grampos colocou-se uma manta de borracha em contato com o vidro, e por cima dessa manta uma barra de aço com a intenção de garantir uma distribuição uniforme de carga provocada pelo aperto dos grampos. Para a montagem da célula primeiramente coloca-se os grampos das extremidade e posteriormente intercala-se os demais a uma mesma distância. A Figura 2.10 mostra a posição de cada peça na montagem da célula, ilustrando o que foi dito anteriormente.

Com o propósito de evitar todos os problemas relacionados aos furos no vidro foi adicionada uma câmara em acrílico para a injeção dos fluidos com diâmetro igual a 50 mm, comprimento 150 mm e espessura da parede 10 mm (o mecanismo de injeção será melhor explicado no procedimento experimental).

Com essa câmara a injeção dos fluidos ocorre paralelamente ao escoamento, diferente do que acontecia anteriormente onde a injeção era perpendicular, fazendo com que a gravidade atuasse no deslocamento. Para esta mesma câmara foi projetado um eixo com um rasgo passante de aproximadamente 3 mm de largura e 120 mm de comprimento, o que viabiliza o escoamento dependendo da sua posição. Foi adicionado também um pequeno reservatório no final da célula com o propósito de garantir a coleta do volume do fluido deslocado, evitando a mistura dos fluidos (relembrando que o mecanismo de injeção será melhor explicado no procedimento experimental). Essas câmaras são fixadas no vidro através de pressão, com o auxílio de parafusos. Esses detalhes são mostrados nas Figuras 2.11 e 2.12.

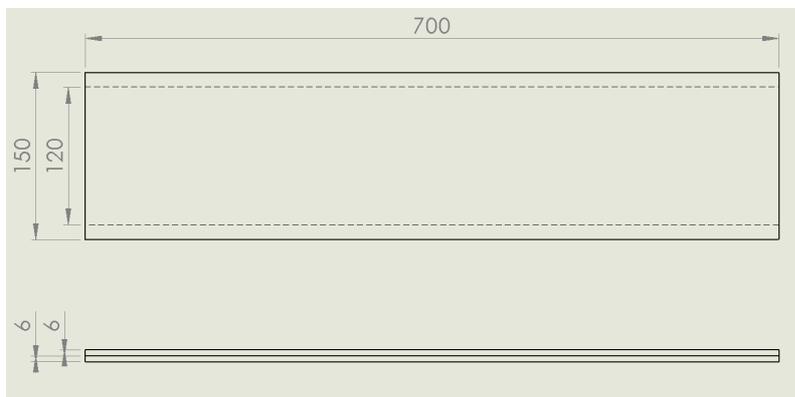


Figura 2.9: Dimensões da célula de Hele-Shaw.

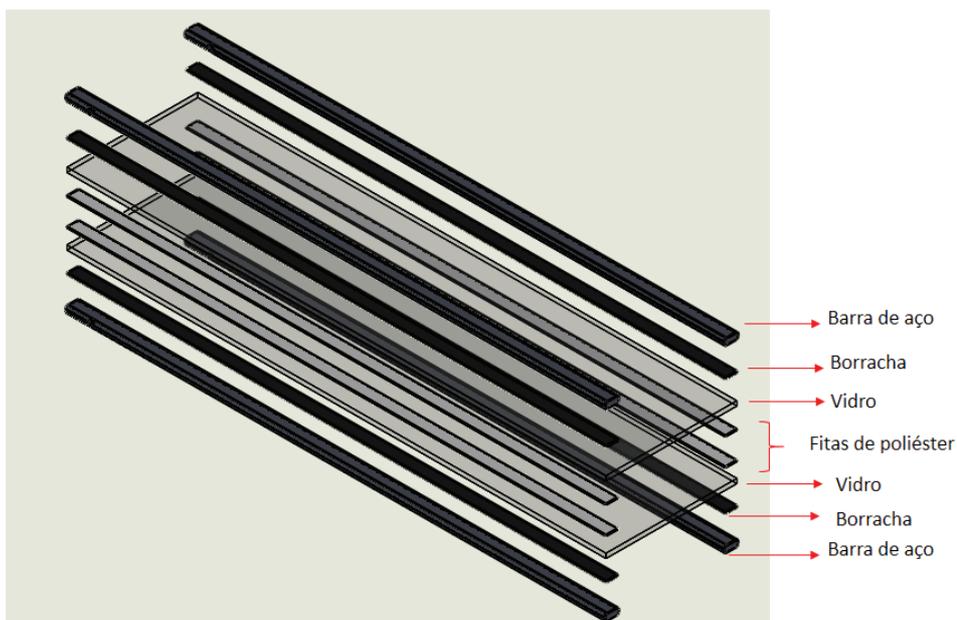


Figura 2.10: Imagem explodida da Célula de *Hele-Shaw*.

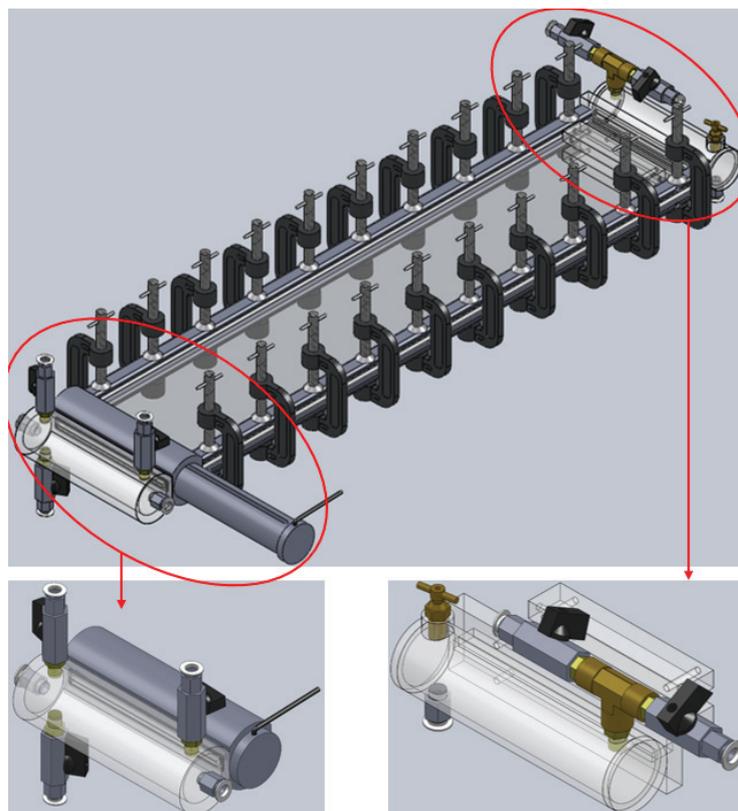


Figura 2.11: Detalhes da célula de *Hele-Shaw*.



Figura 2.12: Célula de *Hele-Shaw*.

Além da célula de Hele-Shaw, a bancada experimental é composta por dois reservatórios em acrílico para o armazenamento dos fluidos, uma câmera 7D da marca Canon usada para filmar a evolução da interface, uma bombona de descarte para evitar que os fluidos sejam descartados na linha de esgoto da Universidade, sendo recolhida quando cheia por um empresa especializada, uma balança semianalítica da marca Gehaka usada para medir a massa de fluido que sai da célula, e assim garantir o escoamento de um volume deslocado constante e conhecido, um termopar para medir a temperatura dos fluidos na saída da célula, um negatoscópio usado para iluminar a célula permitindo assim a filmagem, já que os testes foram realizados no escuro e duas bombas da Coleparmer, sendo uma de 1 – 100 rpm para vazões mais baixas e a outra de 6 – 600

rpm para vazões mais altas. A bancada experimental pode ser vista na Figura 2.13.



Figura 2.13: Bancada experimental.

2.3 Procedimento experimental

Para a execução dos testes, a célula foi primeiramente preenchida com o fluido a ser deslocado utilizando a bomba peristáltica da Cole-parmer. A posição do rasgo deve ser paralela à célula, como mostra a Figura 2.14. A célula deve ser nivelada para garantir um escoamento uniforme e sem efeitos de gravidade. Após a célula ser preenchida fecha-se a câmara da entrada (Figura 2.15) e esvazia-se a mesma, garantindo que todo o fluido a ser deslocado tenha sido removido, podendo então ser substituído pelo fluido deslocador. Esse preenchimento é realizado, também, com o auxílio da bomba da Cole-parmer, porém com outra mangueira, já que o fluido não passa pela bomba, apenas pela mangueira, Figura 2.16.

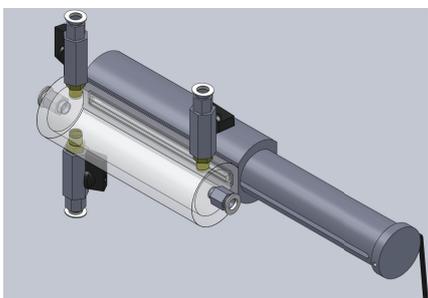


Figura 2.14: Posição favorável ao escoamento.

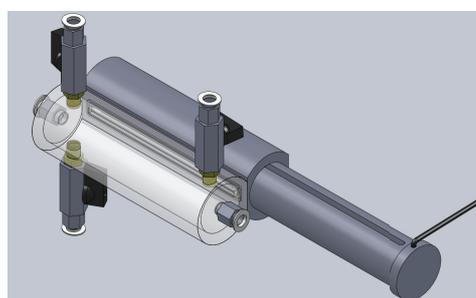


Figura 2.15: Posição desfavorável ao escoamento.



Figura 2.16: Bomba peristáltica da Cole-parmer.

Antes de iniciar o escoamento, liga-se o negatoscópio e posiciona-se a câmera filmadora no suporte. A câmera deve estar perfeitamente alinhada com a célula para que haja concordância entre os testes. Em seguida, define-se uma marcação no controlador da bomba que corresponde a uma vazão de injeção. Esse controlador é de baixa precisão, Figura 2.17, o que dificulta a estimativa da vazão assim como a repetição dos testes para uma mesma vazão. Definida a marcação da bomba, ou seja, a vazão, move-se o eixo para a direção na qual, novamente, o rasgo está paralelo ao escoamento permitindo assim o deslocamento e abre-se a válvula esférica situada na câmara da saída da célula direcionada à balança.



Figura 2.17: Controlador da bomba peristáltica da Cole-parmer.

Ao passar pela primeira marcação, como mostra a Figura 2.24, aciona-se a câmera, pois é importante capturar imagens da célula preenchida apenas com o fluido a ser deslocado para que o tratamento de imagens torne-se viável. Ao passar pela segunda marcação, simultaneamente, aciona-se o cronômetro e tara-se a balança. Cronometra-se o tempo necessário para deslocar um volume constate, sendo esse o parâmetro de controle de todos os testes, já que a vazão não é a mesma. O teste é finalizado quando a massa correspondente a esse volume é alcançada.

Após cada teste, a célula é esvaziada através da injeção de ar e água, e novamente preenchida com o fluido a ser deslocado, repetindo-se todo o procedimento. Como não foi possível garantir uma repetibilidade qualitativa dos resultados, cada teste tem uma vazão diferente dos anteriores, podendo ser próximas, mas não as mesmas.

Após um conjunto de testes no mesmo dia, esvazia-se a célula através da injeção de ar, água e sabão, simultaneamente.

Tratamento das imagens

Após a realização dos testes é necessário tratar as imagens para a partir delas estimar a eficiência do escoamento de cada teste. Para tratar essas imagens usou-se o programa Fiji, um processador de imagem de código aberto baseado no ImageJ. A interface desse programa é mostrada na Figura 2.18.

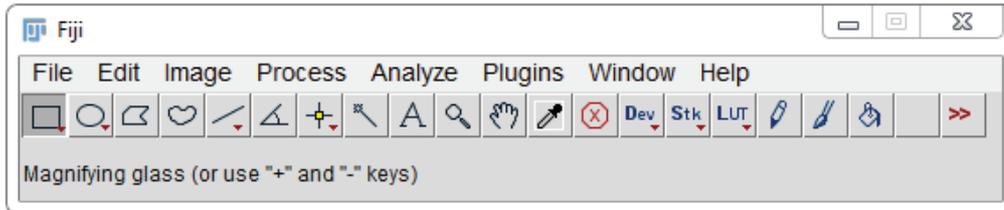


Figura 2.18: Interface do programa Fiji.

Antes das imagens serem tratadas é necessário converter o filme em fotos. A máquina usada, a Canon 7D, foi configurada para sessenta quadros por segundo, ou seja, sessenta imagens por segundo. Para escoamentos muito lentos o filme foi convertido para uma imagem por segundo, já para os mais rápidos foi necessária a configuração de sessenta imagens por segundo, afim de obter mais imagens e analisar melhor o escoamento.

Após a conversão do conjunto de imagens, selecionam-se seis imagens do escoamento mais a imagem com a célula preenchida somente com o fluido a ser deslocado para o processamento das imagens, Figuras 2.23(a) e 2.19, respectivamente. Cada imagem escolhida foi devidamente cortada, individualmente, como demonstra a Figura 2.19.

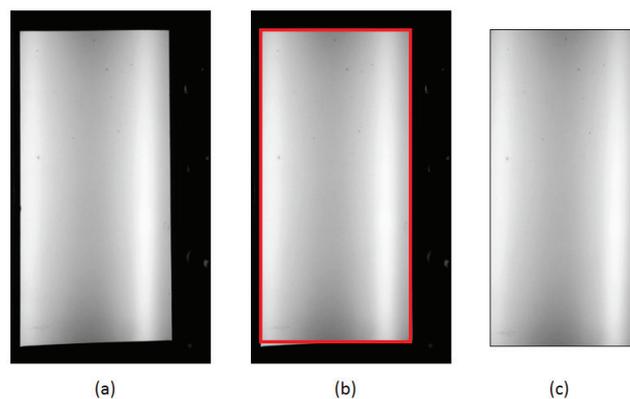


Figura 2.19: (a) Imagem original (b) Área de corte (c) Imagem após seção cortada.

Sob a imagem original, Figura 2.20(a), do fluido a ser deslocado, é aplicado um filtro passa baixa para ajudar no tratamento das demais imagens do escoamento. O filtro passa baixa tende a suavizar a imagem original, substituindo cada pixel pela a média dos pixels vizinhos. Na aplicação desse filtro nota-se a eliminação de detalhes, o que torna a imagem mais borrada. Sendo assim, subtraindo-se a imagem original dos planos desfocados é obtida uma imagem mais uniforme e nítida. A partir da Figura 2.21, pode-se observar uma imagem mais nítida.

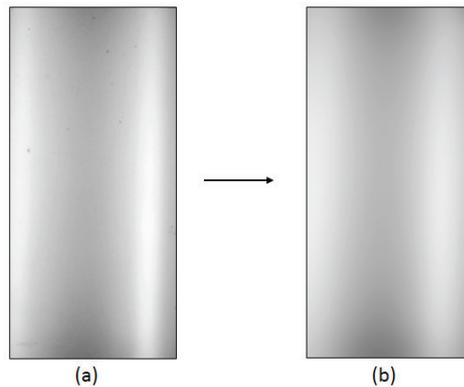


Figura 2.20: (a) Imagem original (b) Imagem aplicada o filtro passa baixa.

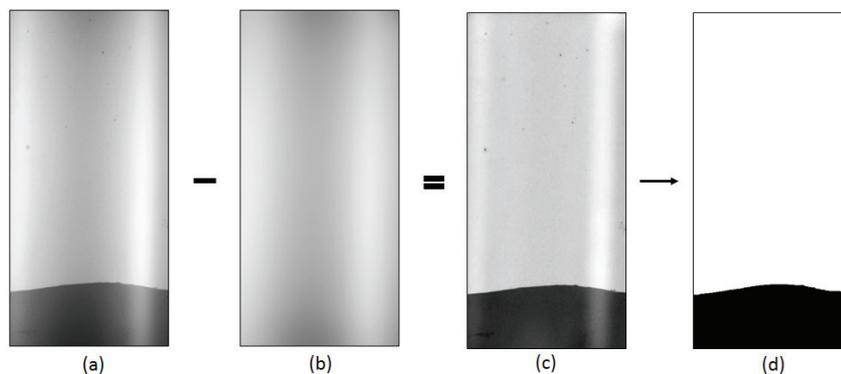


Figura 2.21: Etapas para binarização das imagens.

Para se calcular a eficiência do escoamento é necessário que a imagem a ser analisada esteja binarizada, ou seja, preto e branco. A imagem original subtraída da imagem com o filtro passa baixa resulta em uma imagem em tons de cinza com maiores contrastes, podendo então ser aplicado o comando para binarizar a mesma, Figura 2.21. Todas as seis imagem escolhidas são binarizadas (Figura 2.23), porém somente na última é calculada a relação de pixels pretos sobre pixels totais, Equação 2-1, relação que define a eficiência do deslocamento, pois essa corresponde a última imagem do escoamento e consequentemente a imagem associada a um volume constante deslocado.

$$\epsilon = \frac{A_{pixels_pretos}}{A_{pixels_Total}} \quad (2-1)$$

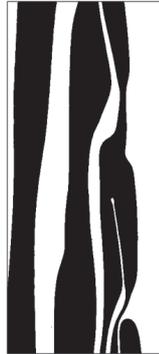


Figura 2.22: Última imagem analisada, $\epsilon = 54,56\%$ do óleo deslocando a poliacrilamida 0,25%.

A Figura 2.23 ilustra um teste realizado do óleo mineral deslocando a poliacrilamida. A Figura 2.23(a) mostra as seis imagens antes de serem tratadas, sendo apenas colocadas nas dimensões corretas. Já a Figura 2.23(b) mostra as imagens após serem binarizadas. A partir dessas imagens é possível afirmar que o processamento das imagens não as alterou quanto a forma da interface e a área que o fluido deslocador ocupou.

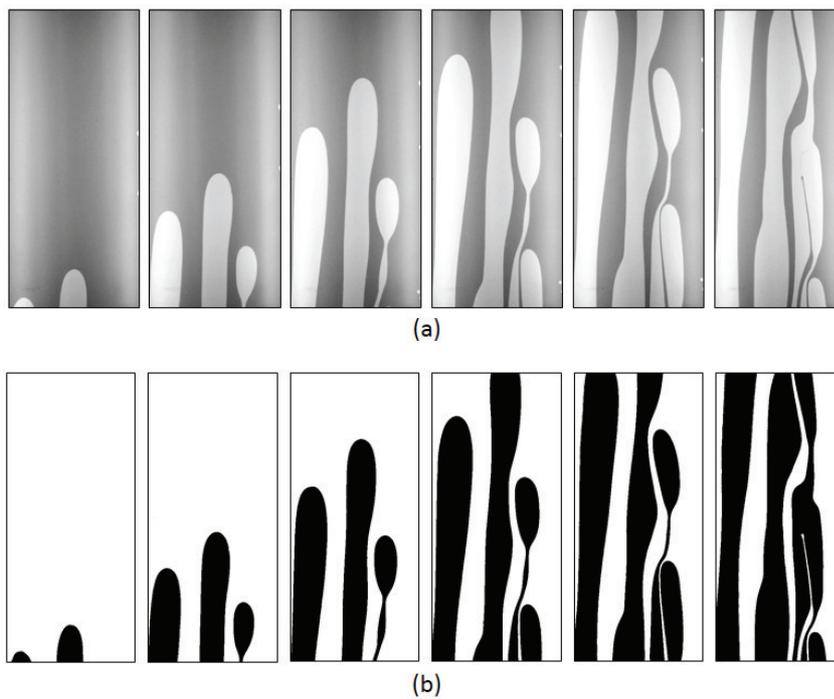


Figura 2.23: Óleo deslocando PHPA 0,25% (a) Imagens antes de serem binarizadas. (b) Imagens binarizadas.

A Figura 2.24 representa um esquema resumido do procedimento experimental.

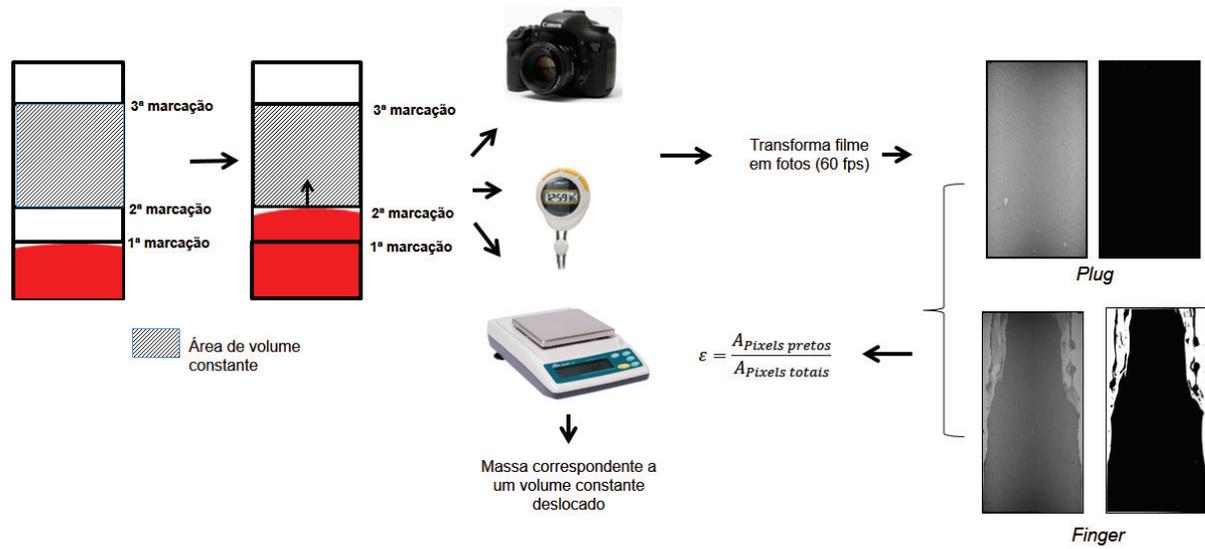


Figura 2.24: Esquema do procedimento experimental.