

## Resumo Expandido

### **ESTUDO DA DINÂMICA DO MOVIMENTO DE BOLHAS DE AR, EM CÉLULA "HELE-SHAW DELGADA", VIA ANÁLISE DE IMAGENS FOTOGRÁFICAS.**

*Augusto Tadeu Pimentel de Araujo (PIBIC-ICV/UFPI)*

Valdemiro da Paz Brito(Orientador, Depto de Física– UFPI)

Giovani Lopes Vasconcelos(Colaborador-UFPE)

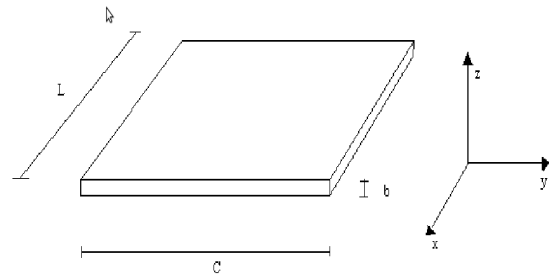
#### INTRODUÇÃO

A dinâmica da interface entre dois fluidos viscosos na célula de Hele-Shaw delgada, sistema esse em que os fluidos estão confinados entre duas placas de vidro paralelas com uma pequena separação entre elas, tem sido objeto de vários estudos nas últimas duas décadas. O grande interesse nesse sistema deve-se, em parte, à existência de uma analogia matemática entre a célula de Hele-Shaw e outros importantes problemas de interfaces móveis, tais como, o crescimento dendrítico de cristais e a solidificação direcionada [1]. Outra característica importante da célula de Hele-Shaw é ser um sistema de implementação prática relativamente simples, além de ser também suscetível à análise teórica. De fato, várias soluções exatas para a dinâmica de bolhas foram obtidas, quando os efeitos de tensão superficial são desprezados. A primeira solução exata foi obtida por Saffman & Taylor [2] para uma bolha infinitamente alongada (o chamado “dedo viscoso”) movendo-se com velocidade constante, que em seguida foi generalizada por Taylor & Saffman [3] para o caso de uma bolha de tamanho finito. Recentemente uma solução exata para um número arbitrário de bolhas (movendo-se com mesma velocidade) foi obtida por Vasconcelos [4], sendo que todas as soluções anteriores são casos particulares dessa solução mais geral. Apesar do grande número de trabalhos teóricos nessa área, poucos estudos experimentais sobre bolhas na célula de Hele-Shaw foram realizados. A uma taxa de injeção relativamente baixa, o sistema apresenta um comportamento periódico (“trem de bolhas”), mas à medida que a taxa é elevada a solução periódica torna-se instável, ocasionando sucessivos “emparelhamentos” de bolhas, comportamento esse que lembra o fenômeno de dobramento de período em sistemas caóticos. Outro estudo experimental sobre bolhas na célula de Hele-Shaw foi realizado por Homsy & Kopf-Sil [5] que observaram seis tipos de famílias diferentes de bolhas de acordo com os parâmetros do sistema (viscosidade e tensão superficial do fluido, tamanho das bolhas, inclinação da célula, etc). Em vista da existência de soluções exatas para um número qualquer de bolhas, torna-se necessário realizar novos estudos experimentais para se determinar quais dessas soluções podem ser observadas na prática. Além disso, seria importante estudar em maior detalhe o fenômeno de borbulhamento caótico mencionado acima.

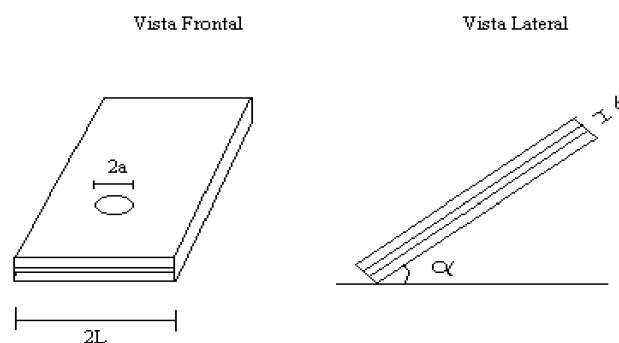
O objetivo geral do projeto consiste em realizar um estudo experimental de dinâmica de bolhas na célula de Hele-Shaw. Para tanto, foi necessário o desenvolvimento de software específico para o tratamento das imagens capaz de nos fornecer os parâmetros físicos da bolha, tais como área, diâmetro e posição, em função do tempo. Outro objetivo específico foi verificar se os resultados obtidos a partir do sistema montado estão de acordo com os resultados conhecidos na literatura [4] para o caso de uma única bolha movendo-se na célula de Hele-Shaw.

## METODOLOGIA E MATERIAIS

Na célula de Hele-Shaw a separação entre as placas formam um canal quase bidimensional, pois a espessura entre as placas é muito pequena com relação às outras dimensões. Abaixo apresentamos uma ilustração do canal formado entre as placas.



Essa célula consiste de duas placas de vidro de 120,0x25,0x1,0cm, separadas de uma distância de 1,04mm por uma camada de borracha são fixadas ao longo das laterais por um conjunto parafusos. Abaixo apresentamos um esquema mostrando os parâmetros da célula onde  $2L$  é a largura do canal,  $2a$  é o diâmetro da bolha,  $b$  é a separação entre as placas e  $\alpha$  é o ângulo de inclinação da célula com a horizontal. Na montagem experimental o canal disponível para o fluido, excluindo as fitas de borracha utilizadas como separador, possuía largura de  $2L = 25,0\text{cm}$ , e como já foi mencionado  $b = 1,04\text{mm}$ .



Foi utilizada uma Câmera JAI RWC-6740GE em formato VGA de alta velocidade com uma varredura progressiva CCD e saída Gigabit Ethernet com resolução de 640x480 pixels a uma taxa de 200 frames por segundo, colocada sobre um suporte a uma distância de aproximadamente 60 cm do centro da célula, ficando a lente a uma distância de 50 cm.. A célula fica apoiada em um suporte metálico que nos permite mudar a inclinação da célula e, portanto, a velocidade de subida da bolha. O suporte, por sua vez, tem uma lâmpada fluorescente acoplada na parte inferior da célula que ainda possui uma folha de papel vegetal entre a lâmpada e a célula para assegurar uma iluminação difusa da mesma. A injeção de ar é feita manualmente através de uma agulha e uma seringa acoplada na base da célula.

As figuras adiante ilustram as montagens experimentais, já ajustadas, usadas no desenvolvimento do plano de trabalho (em andamento).



Figura 1: Arranjo experimental utilizado na segunda etapa contendo uma célula de Hele-Shaw delgada de inclinação ajustável e câmera de captura de imagens de alta velocidade.

## RESULTADOS

Como resultados, podemos destacar a obtenção de filmes contendo os movimentos das bolhas nos seus percursos ao longo da célula Hele-Shaw delgada, sendo que nas figuras adiante destacamos dois instantâneos destes movimentos.

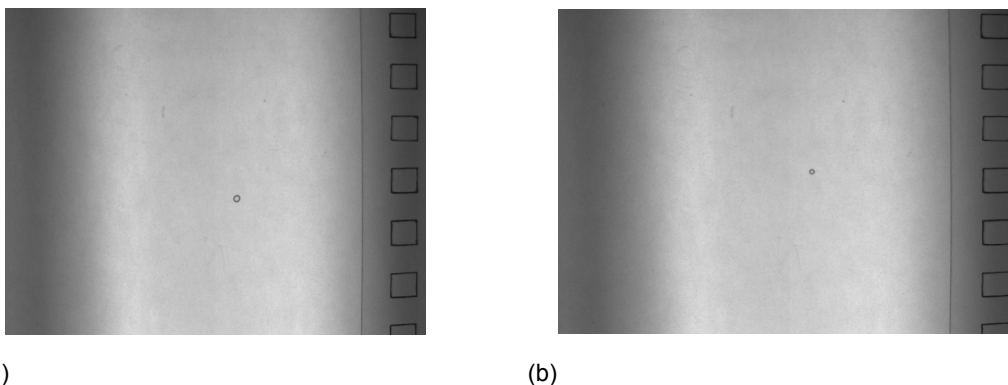


Figura 2: Imagens padrões obtidas durante o movimento ascendente das bolhas na célula de Hele-Shaw

## CONCLUSÃO

Podemos destacar a montagem com êxito do arranjo experimental (referente a Figura 1) juntamente com o interfaceamento câmera-computador e ainda a capacitação operacional do software da Câmera JAI RWC-6740GE e estudo relativo ao domínio da linguagem de programação do Software MATLAB utilizado para análise do grande número de imagens capturadas das bolhas durante os seus movimentos ascendentes na célula (Figuras 2(a) e (b)). Por dificuldades diversas, não foi possível estudar detalhadamente, como previsto, as trajetórias das bolhas para permitir a comparação com os resultados já existentes na literatura. Tal etapa poderá ser feita a posteriori, em estudos voluntários no LFNE/DF-UFPI.

## APOIO

Agradecemos à UFPI pelo apoio logístico e de infra-estrutura à realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pelcé, P. "Dynamic of Curved Fronts", Academic Press, Universidade de Minnesotas (1988)
  - [2] Saffman, P.G. & Taylor G. I. "The Penetration of a fluid into a porous medium or Hele-Shaw cell containing a more viscous liquid." Proc. R. Soc. Lond. A **245**,312-320 (1958).
  - [3] Saffman, P.G. & Taylor G. I. "Exact Solutions for the growth of fingers from a flat interface between two fluids in a porous medium ou Hele-Shaw cell." Q.J.Mech.Appl.Maths **12**,146-150.(1959)
  - [4] G. L Vasconcelos, " Exact solutions for steady bubbles in a Hele-shaw cell with rectangular geometry", J. Fluid Mech, **444** 175-198 (2001).
  - [5] Anne R. Kopf-Sill, G. M. Homsy, "Bubble motion in a Hele-Shaw cell", Phys. Fluids **31**(1), January (1988)
- Palavras-chave: Dinâmica de Bolhas. Célula de Hele-Shaw. Fluidos.