

## Estudo da interação e coalescência de gotas usando a técnica de fluorescência induzida por laser planar de alta velocidade

Gabriel de Souza

Arthur Vieira da Silva Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

[gabrielsouza171216@usp.br](mailto:gabrielsouza171216@usp.br); [avs.oliveira@usp.br](mailto:avs.oliveira@usp.br)

### Objetivos

O uso de sprays é crucial em várias indústrias e na agricultura [1]. No entanto, a maioria dos ensaios de impacto de gotas foca em apenas uma gota. Nos últimos anos, a pesquisa sobre a interação de múltiplas gotas em uma superfície tem aumentado, visando o desenvolvimento de modelos físicos [2].

Este estudo analisa a coalescência entre uma gota séssil com corante fluorescente e uma gota de água pura. A pesquisa investiga a dinâmica do impacto, coalescência e mistura do fluido utilizando imageamento rápido (5000 fps) e técnicas de fluorescência induzida por laser e shadowgraph, sob diversas condições experimentais, como variações na velocidade de impacto e na distância entre os centros das gotas.

### Métodos e Procedimentos

A Figura 1 ilustra a bancada experimental e os equipamentos usados para capturar imagens dos testes. A bomba de seringa é alimentada por um sistema de mangueiras de duas vias: uma com água pura e a outra com uma solução de Sulforhodamina B, um corante fluorescente. Em seguida, uma gota da solução de corante (gota séssil) é colocada sobre um substrato de vidro e posicionada abaixo da segunda agulha com o auxílio de um estágio de translação. Uma gota de água pura (gota impactante) é então despejada sobre a gota

séssil, configurando o impacto de gota sobre gota.

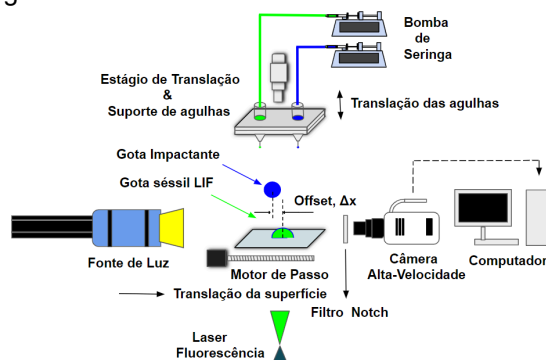


Figura 1: Aparato experimental desenvolvido.

A ideia era que a gota séssil dopada com corante emitisse fluorescência quando iluminada por um feixe de laser de 532 nm projetado por baixo da superfície, como mostrado na Figura 2. O corante funcionaria como um marcador para analisar a mistura dos fluidos e observar a coalescência, incluindo a detecção precisa do início da coalescência e os regimes de impacto.

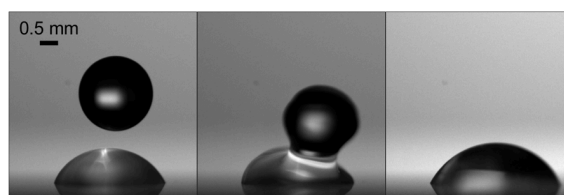


Figura 2: Sequência de frames demonstrando o princípio dos experimentos.

Por fim, após a realização dos testes variando a velocidade de impacto e o offset entre as gotas, foi desenvolvido um código em MATLAB para aprimorar as imagens obtidas. Esse código teve o objetivo de identificar os limiares entre as gotas e as variações na intensidade das cores. Com isso, buscou-se facilitar a análise dos fluxos líquidos, da coalescência e dos regimes de impacto observados.

## Resultados

Inicialmente, foram identificados três regimes de impacto de gota sobre gota em uma superfície de vidro com a gota sésil dopada com corante fluorescente: coalescência direta, coalescência acompanhada por conglutinação e coalescência durante a fase de retração (Figura 3).

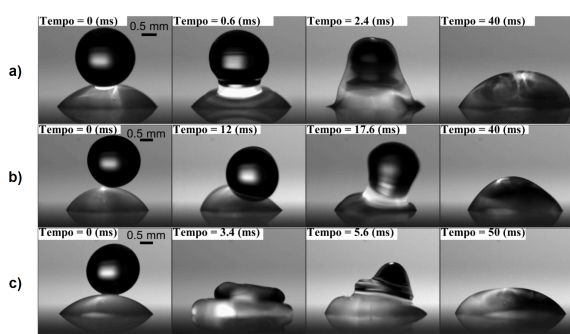


Figura 3: Regimes de impacto: a) Coalescência direta,  $v = 0.255$  m/s ; b) Coalescência acompanhada por conglutinação,  $v = 0.305$  m/s ; c) Coalescência em fase de retração,  $v = 0.543$  m/s .

O regime de rebote completo não foi observado durante os experimentos. A hipótese para esse resultado é que a adição do corante fluorescente à gota sésil pode ter reduzido a tensão superficial do líquido, diminuindo a resistência da gota ao impacto e sua capacidade de recuperação.

Para os regimes de impacto de gota sobre gota com deslocamentos de 1 mm e 2 mm, foram identificados quatro regimes no primeiro caso: coalescência após escorregamento, coalescência pós-colisão com o substrato, coalescência durante a fase de retração e

coalescência durante a fase de espalhamento. No segundo caso, observou-se coalescência direta em todos os valores de energia de impacto.

O pós-processamento das imagens foi comprometido, afetando os resultados do experimento. Na Figura 4, três frames consecutivos de um teste com  $v = 0,525$  m/s mostram as gotas iniciando o impacto. No entanto, reflexos indesejados causaram ondulações e aberrações ópticas na gota impactante, que apresentaram uma tonalidade semelhante à da gota sésil dopada, mesmo antes da coalescência. Isso dificultou a distinção entre os líquidos e a análise precisa do início da coalescência, tornando o marcador fluorescente da técnica LIF ineficaz. Tentativas de binarização ou aumento de contraste não resolveram o problema.

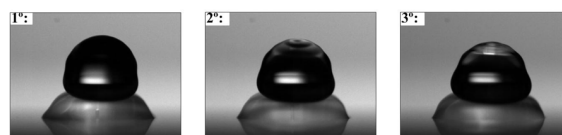


Figura 4: Reflexos no topo da gota impactante.

## Conclusões

Esta pesquisa buscou um maior entendimento acerca de um fenômeno físico pouco estudado e definido com técnicas ópticas avançadas. Apesar de não ter sido possível quantificar a mistura do fluido, pudemos caracterizar com sucesso os regimes de coalescência direta, com conglutinação e em retração.

## Referências

- [1] T. Neha, M. Hari, Simulation Study of Droplet Formation in Inkjet Printing using Ansys Fluent, Journal of Physics: Conference Series, 2161 (1) (2022).
- [2] Castrejon-Pita, J. R.; Kubiak, K. J.; Castrejon-Pita, A. A.; Wilson, M. C. T. and Hutchings, "Mixing and Internal Dynamics of Droplets Impacting and Coalescing on a Solid Surface", Physical Review E, vol. 88, (2013) 023023.