

Planejamento de atividades experimentais: é possível obter dados de qualidade sem grandes investimentos?

Sergio Felipe Viana do Amaral¹; Gabriel Rocha S. Zarnauskas²; Jairo Cavalcante²; Melanie Mendoza¹; Ruy Morgado de Castro² e Zwinglio de Oliveira Guimarães Filho²

1-Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

2-Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Resumo

Este trabalho mostra que modificar um experimento com o intuito de aprimorar a qualidade dos dados obtidos nem sempre requer novos e caros equipamentos. Duas equipes de estudantes da disciplina Física Experimental II do IFUSP retomaram um dos experimentos regulares da disciplina sem efetuar mudanças muito grandes nos equipamentos utilizados, mas sim, alterando o procedimento experimental. Graças a estas mudanças, algumas já incorporadas à disciplina, foi possível observar efeitos antes encobertos pelas incertezas, como o da película de óleo na massa, que levava a uma errônea determinação da densidade das esferas, afetando principalmente as de menor diâmetro.

I - Introdução

Muitas vezes, apenas com pequenas mudanças no procedimento experimental, visando aumentar o controle sobre o experimento, é possível obter mais informações (e conseqüentemente aprender mais) sobre a Física envolvida no processo. Nas disciplinas de Física Experimental 1 e 2 do Instituto de Física da USP foi instituído, há alguns anos atrás, um experimento onde o tema é proposto pelos alunos^[1]. Várias das propostas têm como objetivo reavaliar experimentos regulares das disciplinas (abordando-os de forma mais cuidadosa), em que os resultados obtidos são significativamente melhores, permitindo observar detalhes antes despercebidos.

II – Limitações da Lei de Stokes

Este trabalho descreve o que ocorreu com o experimento que tem como principal objetivo demonstrar que é possível detectar experimentalmente limitações em modelos físicos^[2], testando a lei de Stokes^[4] que descreve a força de resistência sobre esferas em um meio viscoso. Para isto, utiliza-se um tubo com óleo onde se jogam esferas, cronometrando-se o tempo de queda em um intervalo do percurso onde elas já estão à velocidade constante. Através das informações obtidas também é possível determinar a viscosidade do fluido.

Em 1999, esse experimento foi escolhido por alguns alunos da disciplina com o objetivo de melhor delimitar onde a lei de Stokes deixava de ser aplicável. Em 2000, ocorreu outra retomada do experimento, com o principal objetivo de analisar o comportamento das esferas na região em que a lei de Stokes já não é mais válida.

Para efetuar estes estudos, algumas modificações no arranjo experimental foram introduzidas pelas equipes com o intuito de aumentar o controle sobre o experimento (**quadro 1**). Graças a estas modificações, algumas delas já incorporadas ao experimento regular da disciplina (como a inclusão de esferas de novos diâmetros e a mudança na ordem de lançamento das esferas), observou-se detalhes como a variação da viscosidade devida a uma variação da temperatura do óleo (menos de 1°C) ocorrida no decorrer do experimento, mesmo estando em uma sala com ar condicionado e o efeito da película de óleo sobre a densidade das esferas discutida na seção III.

Do equilíbrio de forças atuantes sobre a esfera, supondo válida a Lei de Stokes, obtém-se a seguinte relação^[2] entre a velocidade limite e o raio da esfera, onde η é a viscosidade do óleo:

$$v_{L\infty} = \frac{2}{9} \left(\frac{\rho_{aço} - \rho_{óleo}}{\eta} \right) g \cdot r^2 \quad (\text{equação 1})$$

O intervalo de validade da Lei de Stokes é determinado observando-se quando a relação acima deixa de descrever o comportamento dos dados. Um exemplo dos gráficos obtidos está apresentado na **figura 1**.

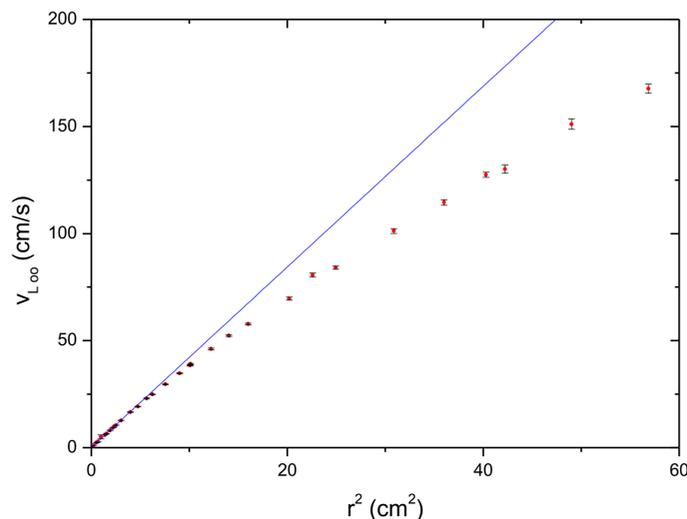


Figura 1- Relação entre a velocidade limite corrigida ($V_{L\infty}$) e o quadrado do raio da esfera (r^2). No gráfico é apresentado também a função ajustada aos pontos que podem ser descritos pelo modelo baseado na Lei de Stokes.

III - Efeito da película de óleo sobre a densidade

Ao determinar a densidade de cada esfera foi observado que havia uma clara tendência de diminuição do valor da densidade obtida, com o aumento do volume da esfera (**figura 2**). Duas contribuições poderiam alterar a massa levando a este comportamento: um erro de zero da balança e/ou a película de óleo lubrificante que recobre as esferas.

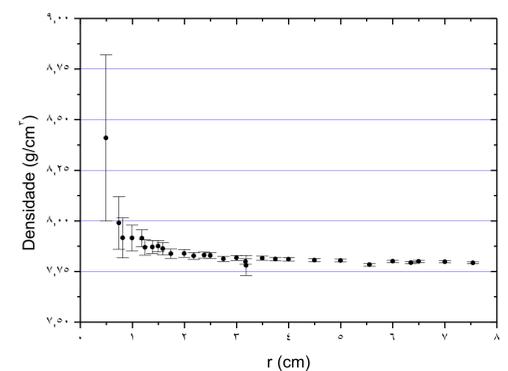


Figura 2 – Densidade das esferas quando não se considera a massa da película de óleo

Quadro 1 - Alterações no arranjo experimental

•Aumento do número de dados (1999/2000)

Adição de esferas de diferentes diâmetros visando caracterizar melhor a limitação da Lei de Stokes

•Diminuição dos efeitos sistemáticos (1999)

Participação de um maior número de observadores cronometrando o tempo de queda das esferas

•Redução do efeito de paralaxe (1999)

Utilização de feixe de laser para definir as posições iniciais e finais do trecho a ser cronometrado

•Estabilidade da temperatura (1999)

Realização do experimento em uma sala com ar condicionado, uma vez que a viscosidade do fluido varia com a temperatura

•Controle dos efeitos da temperatura (2000)

Lançamento das esferas em séries completas (uma de cada diâmetro), pois assim os efeitos de mudanças na temperatura seriam perceptíveis (devido a este cuidado, foi possível observar o efeito da mudança na viscosidade provocada por um pequeno aumento na temperatura do tubo em função da proximidade do lançador das esferas)

•Verificação da densidade das esferas (2000)

Análise das densidades de cada uma das esferas, obtidas a partir de medidas de massa e diâmetro (devido a este cuidado foi possível observar o efeito da película de óleo lubrificante sobre a massa das esferas)

Contribuições para o valor da massa de cada esfera apresentado pela balança analítica

- 1) Massa da esfera de aço
 $M_{aço} = a \cdot r^3$ onde $a = \rho_{aço} \cdot \frac{4}{3} \pi$
- 2) Massa da película de óleo lubrificante que recobre as esferas
 $M_{óleo} = b \cdot r^2$ onde $b = \rho_{óleo} \cdot 4 \pi \cdot \delta_r$
O termo δ_r representa a espessura da película de óleo, e o resultado obtido $\delta_r = 0,039(9)$ mm é bastante plausível.
- 3) Erro de zero da balança
 $M_{zero} = c$

As constantes a , b e c foram obtidas pelo Método dos Mínimos Quadrados para a relação entre a massa e o raio das esferas:

$$m = M_{aço} + M_{óleo} + M_{zero} = a \cdot r^3 + b \cdot r^2 + c$$

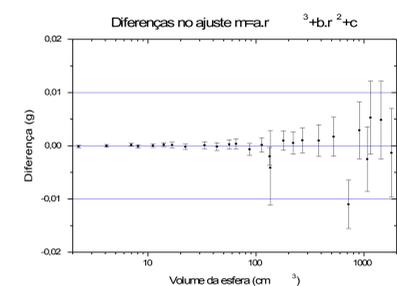


Figura 3 – Diferença entre a massa medida e a massa ajustada

Referências

- 1) L.B. Horodyski-Matsushigue et al., *Um experimento optativo ... laboratório de Física*, Programa e Resumos do XIII SNEF (1999) pág. 42.
- 2) J.H. Vuolo et al., *Apostila de Física Experimental II*, IFUSP, 1999.
- 3) M. Amaku et al., *Validade e limitações de modelos ... aspectos de Fluidodinâmica*, XIII SNEF (1997) pág. 119.
- 4) M.S.D. Cattani, *Elementos de Mecânica dos Fluidos*, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, (1990).