
UM ESTUDO DA DISSIPAÇÃO DE ENERGIA NO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS COM EMPUXO

MACHADO, Mateus J.

Instituto Federal de Goiás, Campus Goiânia.

FONSECA, Regina Celia Bueno

Instituto Federal de Goiás, Campus Goiânia.

DASILVA, Cláudio J.

Instituto Federal de Goiás, Campus Goiânia.

Neste estudo, investigamos em detalhe a dissipação de energia e a influência do empuxo no movimento de projéteis, retomando um problema clássico da dinâmica, mas que ainda mantém relevância prática em diversas áreas, como esportes, tecnologia e engenharia aplicada. O movimento de projéteis é um tema recorrente no ensino de Física, sendo frequentemente abordado em cursos introdutórios por meio de modelos simplificados que desconsideram a resistência do ar e, em muitos casos, outras forças adicionais. Embora tais simplificações sejam úteis para introduzir conceitos fundamentais, elas deixam de representar adequadamente a realidade, na qual o arrasto atmosférico e o empuxo exercem papel significativo no comportamento do projétil. Com o objetivo de superar essas limitações, esta pesquisa utilizou um modelo de arrasto quadrático para descrever a resistência do ar, incorporando também a força de empuxo, frequentemente ignorada em análises teóricas. O empuxo, decorrente da diferença entre o peso do projétil e a força ascendente exercida pelo fluido, é particularmente relevante para objetos de baixa densidade, nos quais a massa do

corpo é comparável à massa do fluido deslocado. Assim, a inclusão dessa força torna a modelagem mais realista e capaz de capturar efeitos sutis, mas de grande importância prática.

A formulação matemática resultou em um sistema de equações diferenciais não lineares e acopladas, cuja resolução analítica é inviável. Para contornar essa dificuldade, foram aplicadas técnicas numéricas adequadas, permitindo a simulação de trajetórias sob diferentes condições iniciais e propriedades do projétil. Essa abordagem computacional possibilitou não apenas a determinação das trajetórias, mas também a análise da evolução temporal da energia do sistema. Os resultados mostraram de forma clara que a consideração do empuxo altera significativamente as características do movimento. Em particular, para projéteis de baixa densidade, como uma **bola de vôlei**, observou-se que a altura máxima atingida, o alcance horizontal e o tempo total de voo aumentam de maneira perceptível quando o empuxo é incorporado ao modelo. Do ponto de vista energético, a análise revelou que o sistema não é conservativo, já que parte da energia mecânica é continuamente dissipada pelo trabalho realizado pela força de arrasto. No entanto, um aspecto interessante identificado é que a dissipação total de energia ao longo da trajetória é **menor quando o empuxo é considerado**, indicando que a força de empuxo reduz parcialmente os efeitos dissipativos do arrasto. Outro ponto de destaque diz respeito à forma da trajetória: em comparação com os modelos que desconsideram o empuxo, verificou-se que a trajetória do projétil se torna mais **assimétrica**, com uma subida relativamente mais acentuada e uma descida mais suave. Esse efeito tem implicações diretas na análise de esportes com bolas leves, no projeto de dispositivos balísticos e até em estudos de aerodinâmica de objetos em queda. Dessa forma, este trabalho reforça a importância de incluir o empuxo em modelos mais realistas de lançamento de projéteis, fornecendo uma descrição mais precisa da dinâmica envolvida e oferecendo subsídios para aplicações tanto acadêmicas quanto tecnológicas.

Palavras-chave

movimento de projéteis; resistência do ar; dissipação de energia; empuxo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Goiás.