

# TRAJETÓRIA DE UM CORPO EM TORNO DA TERRA QUANDO SUJEITO A PEQUENAS VARIACÕES DE VELOCIDADE [INVESTIGAÇÃO]

José Jorge Teixeira [1,3], Armando A. Soares [2,3]

[1] Agrupamento de Escolas Fernão de Magalhães, Chaves, e-mail: jjsteixeira@gmail.com

[2] Departamento de Física da UTAD, Vila Real, e-mail: asoares@utad.pt

[3] Laboratório de Didática de Ciências e Tecnologia (UTAD), Vila Real

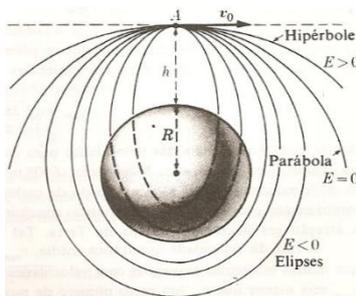
**Resumo:** O estudo incide sobre a previsão das trajetórias de um corpo à volta da Terra quando sujeito a pequenas variações de velocidade. O trabalho baseia-se na análise de um questionário aplicado a professores do ensino secundário e na análise de manuais de Física. Identificou-se uma dificuldade sistemática relativamente à previsão das trajetórias dos corpos que se movimentam à volta da Terra. O uso de simulações computacionais na prática letiva é sugerido como estratégia para ultrapassar esta dificuldade.

**Palavras-chave:** Órbitas, previsão de trajetórias, manuais escolares, simulações computacionais.

## 1. Introdução

As órbitas de um satélite dentro do campo gravítico produzido por um planeta podem ser de três tipos: parabólica, elíptica ou hiperbólica. A órbita circular é um caso particular da órbita elíptica. O tipo de órbita é determinado pela energia mecânica: se a energia mecânica é positiva, a órbita é hiperbólica; se a energia mecânica é nula, a órbita é parabólica e se a energia é negativa, a órbita é elíptica (Alonso e Finn, 1972).

A Figura 1 mostra as trajetórias de um satélite lançado da Terra, após alcançar a sua altura máxima,  $h$ , e receber um impulso final, no ponto A, que lhe confere a velocidade horizontal  $v_0$ . O centro da Terra é um dos focos da trajetória. Para se obter uma órbita parabólica a velocidade do satélite teria de ser igual à velocidade de escape (energia mecânica nula). Para velocidades inferiores, a órbita será elíptica e, no caso particular da órbita circular, a velocidade tem de conferir uma energia cinética que é igual a metade do valor absoluto da energia potencial.



**Figura 12** - Alonso, M. e Finn, E. J. (1972). "Trajetórias de uma partícula lançada horizontalmente de uma altura  $h$  acima da superfície da Terra, com velocidade  $v_0$ ". Física: um curso universitário, 403. São Paulo: Edgard Blücher.

Se a energia cinética for muito baixa a órbita elíptica interceta a Terra e o satélite colide. O mesmo raciocínio pode ser aplicado ao sistema Terra-Lua. A Lua apresenta uma trajetória parabólica de

excentricidade baixa ( $\approx 0,055$ ) e uma velocidade orbital média de  $\approx 1,0$  km/s. A velocidade de escape da Lua relativamente ao campo gravítico terrestre é  $\approx 1,4$  km/s. A partir da expressão da velocidade no afélio, deduzida por Silva (2011), verifica-se que se a velocidade no afélio for reduzida em aproximadamente 20 %, o periélio diminui cerca de 50 %.

## 2. Problema de investigação

A interpretação do movimento da Terra e de outros planetas em volta do Sol e da Lua em volta da Terra é abordada no programa de Física e Química A do 11.º ano. No programa de 2003, essa interpretação está enquadrada no contexto “Da Terra à Lua” da Unidade 1 – Movimentos na Terra e no Espaço. No programa de 2014, que entrou em vigor no ano letivo 2016/2017, este assunto é referido no subdomínio “Forças e Movimentos” na meta curricular “Indicar que a força gravítica e a velocidade de um satélite permitem explicar por que razão a Lua não colide com a Terra assim como a forma das órbitas dos planetas em volta do Sol e dos satélites em volta dos planetas”. No programa do 12.º ano de 2004, atualmente em vigor, as trajetórias de satélites e os movimentos planetários são mencionados no conteúdo “Gravitação” da Unidade I – Mecânica.

Numa época em que a sociedade é extraordinariamente rica em recursos informáticos e audiovisuais para o tratamento da informação e comunicação, o manual escolar continua a ser o suporte de aprendizagem mais difundido e o mais eficaz. Concebido para o aluno, surge frequentemente em função do próprio professor. Serve de guia do aprendiz, mas muitas vezes, é a partir dele que o professor planifica as aulas e as atividades dos alunos, exercendo também as funções de fonte de informação (científica e pedagógica), estruturador e organizador das práticas pedagógicas, às vezes tomado por alguns como uma “bíblia” (Teixeira, 2000).

Assim, a presente investigação centra-se nas trajetórias de um corpo à volta da Terra quando sujeito a pequenas variações de velocidade, o que nos levou a formular as seguintes questões:

- Como são abordadas, pelos manuais de Física mais utilizados pelos professores, as órbitas dos planetas em volta do Sol e dos satélites em volta dos planetas?
- Que previsões fazem os professores que lecionam Física, no ensino secundário, para as trajetórias dos corpos que se movimentam à volta da Terra, com baixa excentricidade, quando a velocidade destes sofre pequenas alterações?

A investigação sobre as trajetórias de um corpo à volta da Terra é relevante porque é um assunto que faz parte dos atuais programas. Da nossa experiência como formadores de professores temos notado algumas dificuldades por parte dos formandos neste tópico.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho consiste em verificar se os professores, do ensino secundário, preveem corretamente a trajetória de corpos que se movimentam à volta da terra em órbitas de excentricidade nula ou baixa, quando o valor da velocidade do corpo sofre uma pequena alteração. São também sugeridas estratégias para ultrapassar eventuais dificuldades.

## 3. Metodologia

Para a consecução do objetivo proposto foi aplicado um questionário a 30 professores de Física e Química do ensino secundário. O tempo de serviço de 87 % dos professores está compreendido entre os 16 e os 30 anos e as habilitações académicas variam desde a licenciatura (67 %) até ao

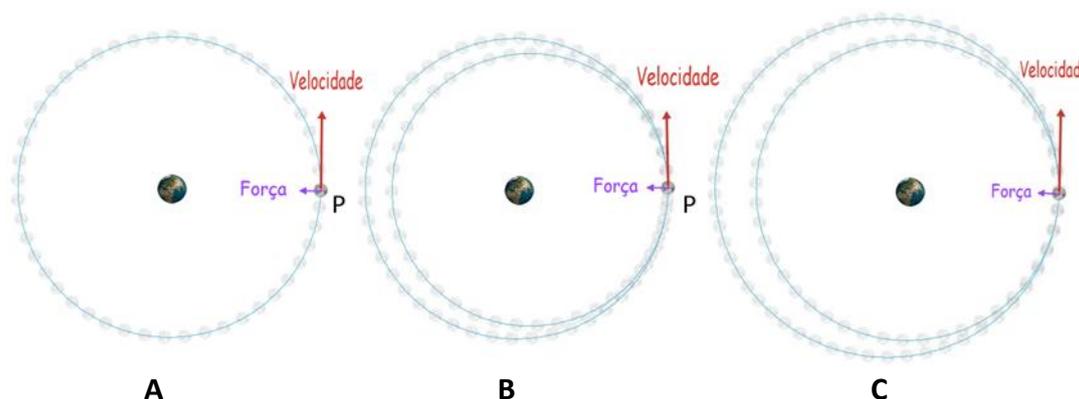
doutoramento. A experiência profissional, nos últimos 10 anos, no ensino da Física nos 10.º, 11.º e 12.º anos é de 3,1; 2,6 e 0,2 anos, respetivamente.

O questionário foi validado por um especialista em Física, com o intuito de se detetarem possíveis incorreções ou ambiguidades e de se verificar a adequação das questões ao objetivo em estudo. Com base nos seus comentários, acrescentaram-se novas questões, bem como se aperfeiçoou o enunciado de outras.

Para comprovar a adequação do questionário à amostra em estudo, este foi aplicado a uma amostra piloto de dois professores de Física e Química que não fizeram parte do universo em estudo. O teste piloto teve como objetivos verificar a compreensão das questões e se a linguagem utilizada era perceptível pelos dois professores. Os professores responderam sem dificuldades e não sugeriram qualquer alteração, pelo que consideramos que estava adequado à população em estudo.

O questionário é constituído por 13 questões. As primeiras dez serviram para caracterizar a amostra de professores e identificar os manuais mais utilizados pelos mesmos. As últimas 3 questões incidiram sobre a trajetória da Lua em torno da Terra bem como sobre a previsão da trajetória da Lua em torno da Terra, quando a velocidade desta sofre um incremento ou uma redução de 5 %.

Para os professores verificarem se a sua previsão estaria correta criou-se uma simulação no *Modellus*, onde se pode observar a trajetória da Lua quando o valor da velocidade desta sofre alterações (Figura 2).

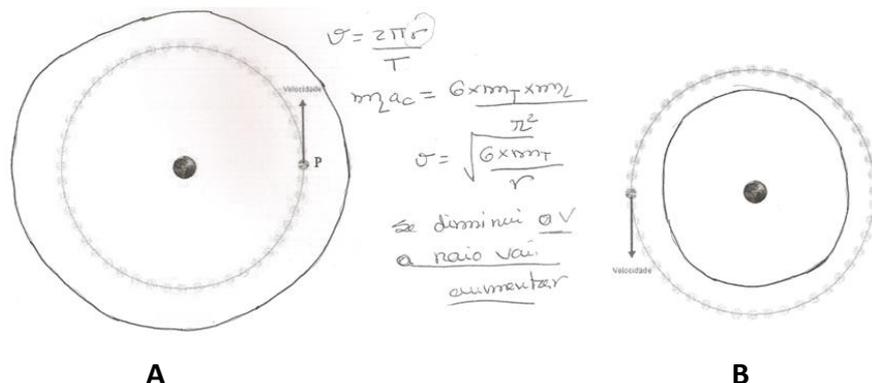


**Figura 2** - Comparação das órbitas da Lua em três situações diferentes: **A** – Órbita normal da Lua (aproximadamente circular); **B** – Órbita normal da Lua e órbita da Lua quando a velocidade desta sofre uma diminuição de 5% (elipse interna); **C** – Órbita normal da Lua e órbita da Lua quando a velocidade desta sofre um incremento de 5% (elipse externa).

#### 4. Resultados

Da análise aos questionários, verificou-se que nenhum professor representou corretamente a trajetória da Lua quando esta sofre incrementos ou reduções “instantâneas” da sua velocidade em 5 %. Em apenas 20 % das respostas é que a órbita interna corresponde à velocidade mais baixa e a externa à mais elevada. As órbitas são sempre circulares e em 73 % das respostas a órbita interna corresponde à velocidade mais elevada (Figura 3). Não representaram qualquer trajetória 7 % dos professores. Somente 20 % dos professores iniciaram o traçado da trajetória no ponto P. Menos de metade dos professores (47 %) relacionaram a trajetória da Lua com a força gravítica e com a velocidade inicial desta. Metade dos professores (50 %) deduzem a expressão da velocidade

orbital de uma trajetória circular para justificar que a diminuição de velocidade provoca um aumento do raio da nova trajetória ou o aumento da velocidade a diminuição do raio dessa trajetória, como mostra a Figura 3.



**Figura 3** – Exemplo da representação da trajetória da Lua, traçada por um professor, quando esta sofre uma redução (A) ou um incremento (B) da sua velocidade.

Os dois manuais do 11.º ano mais consultados pelos professores explicitam que a velocidade adequada da Lua, em combinação com a força gravítica, determina a sua órbita elíptica ou praticamente circular. Dois manuais do 12.º ano explicam o lançamento e as trajetórias de satélites na rubrica “Física em ação”, que se encontra no final de cada capítulo. Um terceiro manual propõe apenas, numa questão, a procura de uma simulação que permita visualizar o tipo de trajetórias.

## 5. Discussão

Os professores mostraram ter dificuldades na previsão das trajetórias e na alteração do tipo de trajetória (de circular para elíptica). Uma pequena alteração da velocidade instantânea de um corpo que se movimenta em torno da Terra com movimento circular obriga a que a trajetória deixe de ser circular e passe a ser elíptica. Os manuais mais utilizados por estes professores abordam muito superficialmente esta temática e/ou relevam este assunto para rubricas pouco abordadas pelos docentes. Os manuais que dão maior profundidade a este assunto são os do 12.º ano. Contudo, segundo afirmam os professores, estes manuais são os menos utilizados devido ao facto da disciplina de Física do 12.º ano ser opcional.

A utilização de simulações computacionais é considerada, na literatura, particularmente relevante e adequada como ferramenta complementar em ambiente de sala de aula (Khan, 2011; Soares e Catarino, 2015; Sarabando, Cravino e Soares, 2016). O uso de simulações computacionais por professores e alunos em ambientes de ensino não formal também tem revelado ser uma estratégia facilitadora do ensino da Física e motivante tanto para alunos como para professores (Teixeira, Soares e Caramelo, 2012, 2015). Assim sugerimos que, nesta temática, sejam utilizadas simulações computacionais para suprir as dificuldades manifestadas pelos professores e a abordagem superficial efetuada pelos manuais.

## 6. Conclusões

Os professores mostraram ter dificuldades na previsão das trajetórias dos corpos que se movimentam à volta da Terra quando o valor da velocidade destes sofre pequenas alterações.

Apenas alguns manuais do 12.º ano explicam as trajetórias dos satélites em rubricas que são pouco abordadas pela maioria dos professores.

Sugere-se que, para uma melhor compreensão, os professores usem simulações para visualizarem o tipo de trajetória possível de acordo com a velocidade inicial comunicada ao corpo.

## Referências

Alonso, M. e Finn, E. J. (1972). *Física: um curso universitário*. (Vol. 1). São Paulo: Edgard Blücher. (Obra original publicada em 1967).

Khan, S. (2011). New pedagogies on teaching science with computer simulations. *Journal Science Education Technology*, 20(3), 215-232.

Sarabando, C., Cravino, J. P. e Soares, A. A. (2016). Improving student understanding of the concepts of weight and mass with a computer simulation. *Journal of Baltic Science Education*, 1 (15), 109-126.

Silva, M. F. (2011). Quantidades médias no movimento de um corpo em trajetória elíptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(3), 1-17.

Soares, A. A. e Catarino, P. M. M. C. (2015). Modelação do enchimento de recipientes com o Modellus. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 6 (3), 38-53.

Teixeira, J. J. (2000). Representações de um programa CTS nos manuais escolares de Física e Química do ensino básico e atitude dos professores. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Teixeira, J. J., Soares, A. A. e Caramelo, L. (2013). Efeito ondulatório no movimento de um conjunto de pêndulos. In J. Gil, A. Ferreira, C. Portela, P. Abreu e T. Peña (Eds.), Livro de Atas da 18.ª Conferencia Nacional de Física e 22.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física (pp.90-93). Aveiro: Sociedade Portuguesa de Física.

Teixeira, J. J., Soares, A. A. e Caramelo, L. (2015). Clube do ensino experimental das ciências do agrupamento de escolas Fernão de Magalhães. *Interações*, 11 (39), 552-563.