

MECÂNICA CELESTE EM ENSINO DE FÍSICA: MEDINDO A VELOCIDADE ANGULAR DA TERRA

Sérgio Murilo Mendonça de Lima; Tâmara R. de Oliveira Lima e Silva

Departamento de Física - Universidade Estadual da Paraíba-UEPB – Campina Grande / sergiouepb20@gmail.com

Resumo

Este trabalho aborda um método simplificado, usando materiais de baixo custo, para se medir a velocidade angular da Terra. Os conceitos básicos da mecânica celeste associados à declinação solar e ao movimento circular uniforme (MCU) são discutidos e conectados aos movimentos do nosso planeta, que tem como consequência as estações do ano. A técnica experimental utilizada, desenvolvida neste trabalho, é baseada na medida do comprimento da sombra de um bastão ao longo de um período do dia, que varia devido ao movimento aparente do Sol. A velocidade angular média do planeta medida, $\omega_m = 7,22 \times 10^{-5} \text{ rad / s}$, com erro de $\pm 0,69\%$, certifica a precisão do método. O experimento, portanto, se mostra uma ferramenta facilitadora do aprendizado, em sala de aula, podendo ser usado no Ensino de Física com o objetivo de enriquecer o conteúdo de movimento circular uniforme.

Palavras-Chave: Velocidade Angular da Terra, Declinação Solar, Mecânica Celeste.

Introdução

A abordagem visa conceder um método para ministrar aulas, com experimentos que tragam resultados satisfatórios, no ensino médio e graduação, sobre conceitos de Mecânica Celeste [1] de uma maneira simples, utilizando materiais de fácil acesso.

A atividade abordada neste trabalho abre possibilidades de discussões a respeito das Leis de Kepler e sua relação com o momento angular [2]. Aqui faremos uma conjectura sobre os movimentos da Terra ao redor do Sol citando-os e relacionado as mudanças de estação enfatizando a inclinação da Terra para, finalmente, calcular a velocidade angular do nosso planeta.

Do ponto de vista didático o que se almeja é que o discente assimile o conhecimento científico. No entanto, ideias não científicas fazem sentido no contexto extraescolar, na sociedade em que as pessoas vivem. O que dizer, por exemplo, de um cientista que também não compreendesse o linguajar popular? Assim é questionável se tentar destruir as ideias intuitivas dos discentes. Parece mais lógico, segundo Solamon [3], conscientizar o discente sobre as suas ideias não científicas e

com uma instrução adequada, capacitá-lo a operar com clareza no domínio científico dos fatos. A maneira aqui exposta poderá contribuir para o processo de abordagem de determinados conceitos do conteúdo da área da Física aqui abordada.

Metodologia

Aqui é oportuno introduzirmos algumas observações associadas à declinação solar, pois esta influencia no andamento do experimento.

Chama-se declinação solar (δ) a distância angular do Equador ao paralelo do Sol, ou seja, é o ângulo formado entre a linha imaginária que une o centro do planeta Terra (na linha do Equador) ao centro do Sol [4].

Sabemos que a equação utilizada no cálculo da declinação é dada por $\delta = 23,45 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right]$, onde n é o número de dias [4].

A mudança da declinação solar com o tempo está associada ao movimento de translação da Terra e é causada pela inclinação do eixo da Terra como visto na Figura 1.

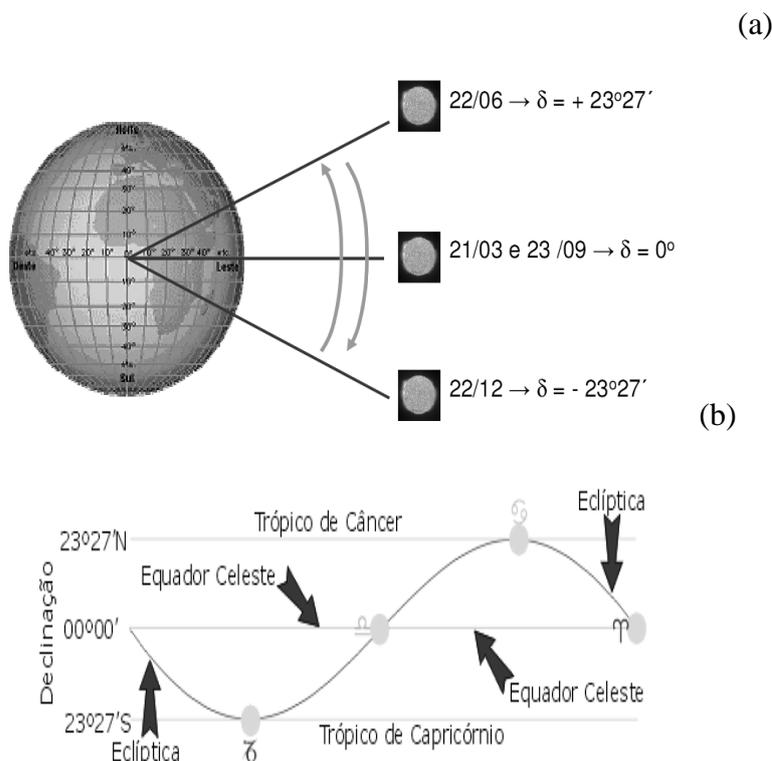


Figura 1: Valores das declinações solares em datas específicas do ano (a) e representação didática da intersecção entre as linhas imaginárias da Terra e da eclíptica Solar (b). O valor $\delta = 0^\circ$ correspondente ao instante em que a Terra

atinge uma posição em sua órbita onde o Sol parece estar situado exatamente na intersecção da linha do Equador com a eclíptica, ou seja, é o instante em que o Sol, no seu movimento anual aparente pela eclíptica, corta o Equador celeste (equinócio).

Este fato faz com que aconteçam as mudanças de estações [4], como mostrado na Figura 2. Quando a declinação atinge os valores máximo e mínimo, recebe o nome de solstício: solstício de inverno no hemisfério sul e de verão no hemisfério norte, com $\delta_{máx} = 23^{\circ}27'$, ocorrendo próximo a 22 de junho, e solstício de inverno no hemisfério norte e verão no hemisfério sul, com $\delta_{mín} = -23^{\circ}27'$, ocorrendo próximo a 22 de dezembro. O equinócio de primavera no hemisfério norte e de outono no hemisfério sul, ocorrendo próximo a 22 de março, e o equinócio de primavera no hemisfério sul, próximo a 22 de setembro, correspondem a $\delta = 0^{\circ}$. A declinação do sol varia mais rapidamente com o tempo nas épocas próximas aos equinócios. δ varia, portanto, de $23^{\circ}27'$ a $-23^{\circ}27'$ [5].

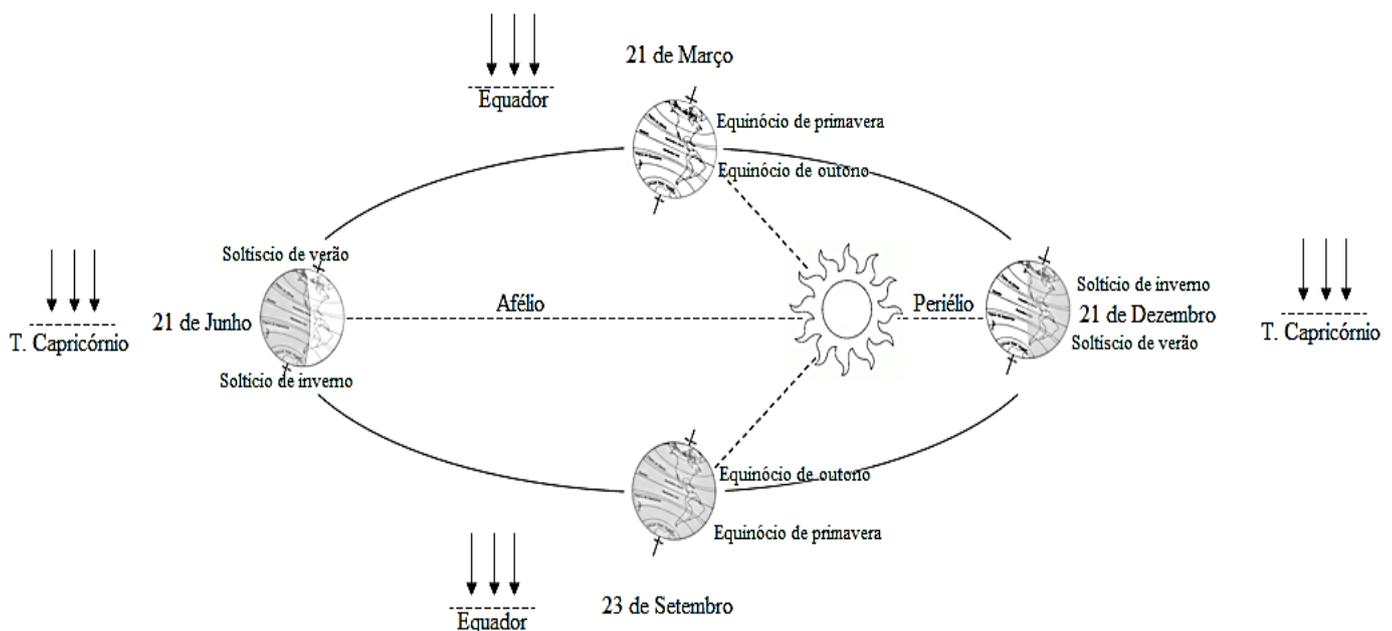


Figura 2: Movimento de rotação da Terra e suas posições durante a trajetória ao redor do Sol, onde percebemos as datas em que se iniciam os equinócios e solstícios, bem como as mudanças de estações do ano.

Cuidados foram tomados para que o experimento fosse realizado em um período fora dos equinócios pois, neste período, a declinação é $\delta = 0^{\circ}$, conforme a Figura 3, tornando inviável a

realização do experimento. Sendo assim, o mesmo aconteceu no mês de junho (δ assumindo valor máximo), após 21 dias decorridos.

Os materiais utilizados foram um cano de PVC, uma trena e um cronômetro. O experimento contou com a participação de alunos do 1º ano do Ensino Médio da EEEFM Professor Anésio Leão, em Campina Grande-PB.

Tal prática poderá servir para uso de professores como melhora do processo de ensino/aprendizagem em relação ao conteúdo de cinemática, no tópico que aborda o movimento circular uniforme [6].

No solo e, de posse de uma trena e um cronômetro, iniciamos o experimento (usamos o cronômetro do telefone celular marcando o instante inicial como $t_1 = 0$). Medimos a sombra formada pelo cano de PVC, devido aos raios solares incidentes no chão, a cada 10 minutos e pelo menos três vezes, totalizando um tempo de 30 minutos. Cada sombra está associada a um valor de um ângulo θ .

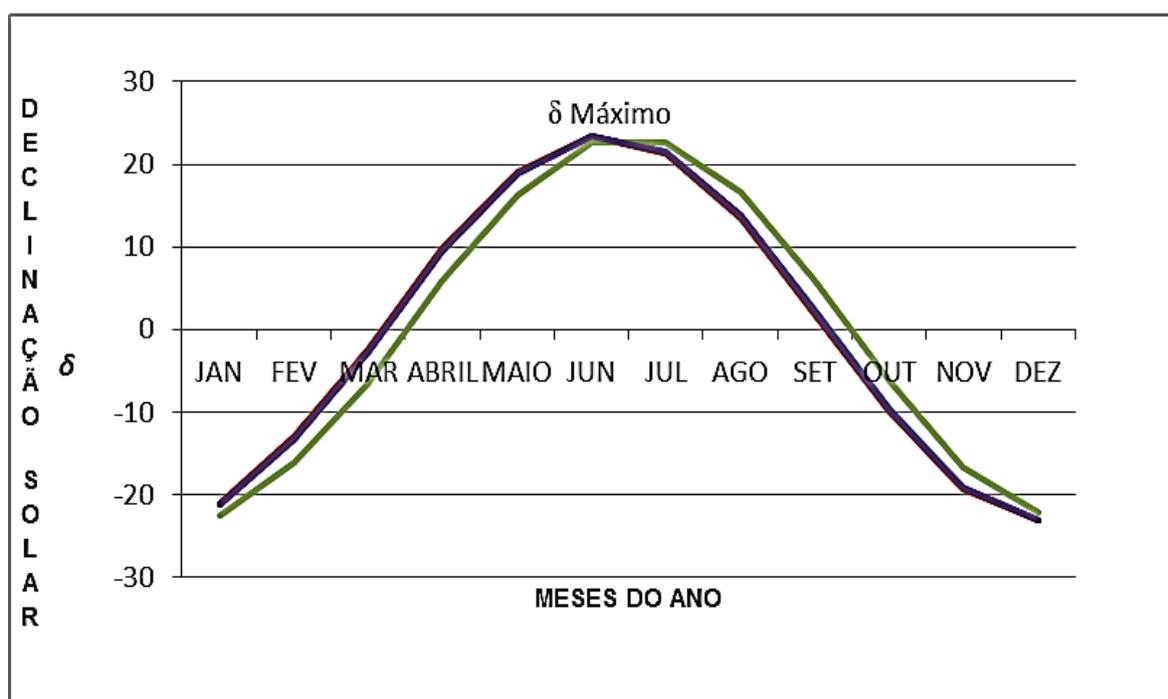


Figura 3 – Gráfico da declinação solar (δ), em graus, em função do 15º dia de cada mês. O experimento foi realizado em 21 de junho, onde δ é máximo.

A partir do cálculo da tangente do ângulo, como ilustra a Figura 4, somos capazes de encontrar a direção da sombra e em seguida transformar θ em radianos. Assim, substituímos o

valor de θ , juntamente com o valor do intervalo do tempo Δt (correspondendo ao intervalo entre 2 medições consecutivas) na equação $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ [7] e comparamos o resultado com a literatura [8].

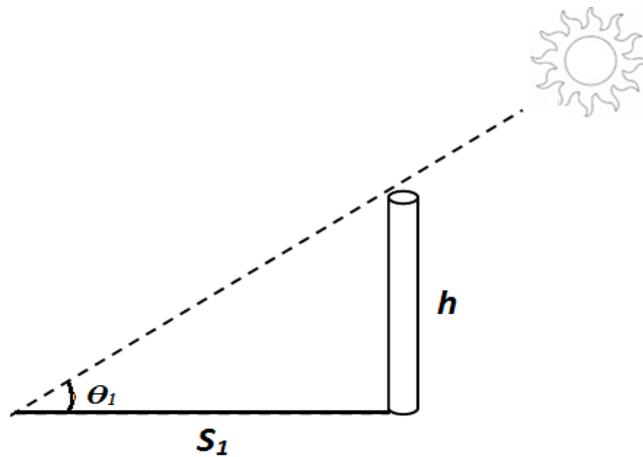


Figura 4: Desenho do aparato experimental onde h é a altura do cano de PVC, S é o comprimento da sombra do raio incidente sobre o cabo, θ é o ângulo formado entre o cano de PVC e o raio incidente. Com esta configuração encontra-se

$$\text{tg}\theta = \frac{h}{S}.$$

A Figura 5 ilustra a configuração do experimento e o momento das medições feitas pelos estudantes.

(a)



(b)



Figura 5: Estudantes montando o experimento (a) e medindo a projeção da sombra do cano de PVC (b).

Resultados e Discussão

No cálculo dos ângulos, usamos a relação $tg\theta = \frac{h}{S}$, com h sendo a altura do cano de PVC ($h = 1,14$ m) e S o comprimento da sombra do cano formada no solo devido à luz incidente. Obtivemos, da primeira medição, $tg\theta_1 = \frac{1,14}{0,792} = 1,43$. Calculamos a direção do raios incidentes, utilizando a relação $arctg(1,43) = 55,21^\circ = \theta_1$. Realizamos mais três medidas em um intervalo de 30 minutos para obtermos os seguintes resultados: $tg\theta_2 = \frac{1,14}{0,870} = 1,31$ e $arctg(1,31) = 52,94^\circ = \theta_2$; $tg\theta_3 = \frac{1,14}{0,952} = 1,19$ e $arctg(1,19) = 50,13^\circ = \theta_3$; $tg\theta_4 = \frac{1,14}{1,032} = 1,10$ e $arctg(1,10) = 47,84^\circ = \theta_4$.

Sabendo que 1 rad corresponde a $57,3^\circ$ [7], usamos uma regra de três simples para convertermos os valores de θ_1 , θ_2 , θ_3 e θ_4 para radianos (rad).

Resumindo, obtivemos os seguintes resultados: $\theta_1 = 0,963$ rad; $\theta_2 = 0,919$ rad; $\theta_3 = 0,875$ rad; $\theta_4 = 0,833$ rad. Dessa forma encontramos três velocidades angulares instantâneas da Terra (uma

medida a cada 10 minutos ou 600 segundos): $\omega_A = \frac{\theta_1 - \theta_2}{600} = 7,22 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$;

$\omega_B = \frac{\theta_2 - \theta_3}{600} = 7,00 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$; $\omega_C = \frac{\theta_3 - \theta_4}{600} = 7,22 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$. A partir daí, calculamos a

velocidade angular média, $\omega_m = 7,22 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$.

O erro na determinação de ω_m foi de $\pm 0,69\%$ (tomando como valor de referência a velocidade angular da Terra como sendo $\omega_{ref} = 7,27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ [8]). Quanto à precisão dos resultados desde experimento, nosso caso apresentou um erro menor que 1%, muito bom em termos de aceitabilidade (um erro de até $\pm 15\%$ é razoável).

Quanto à parte didática, este experimento é considerado uma boa prática pois, com materiais simples a exemplo dos utilizados aqui, é possível verificar uma aplicação muito interessante, em sala de aula, do conteúdo de movimento circular.

Existem outras maneiras de se medir a velocidade angular da Terra [9] [10], mas a técnica bastante simples usada neste trabalho nos permite medir a velocidade instantânea, e depois calcularmos a média, o que nos oferece maior precisão.

Conclusões

Abordamos os movimentos de rotação e translação da Terra e suas implicações nas estações do ano. A constatação é que a inclinação do eixo da Terra em relação à eclíptica do Sol é que é a responsável pela mudança de estações.

Como destaque do trabalho, descreveu-se o experimento que possibilitou-nos medir a velocidade angular média da Terra usando materiais de baixo custo.

A velocidade medida, $\omega_m = 7,22 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$, com erro de $\pm 0,69\%$, vem confirmar que o método utilizado oferece precisão e se mostra uma ferramenta interessante do tópico de MCU abordado no Ensino Médio e de Graduação.

Referências

- [1] VOLCHAN, Sérgio B. **Uma Introdução a Mecânica Celeste**. In: 26º Colóquio Brasileiro de Matemática, Rio de Janeiro, IMPA, 2007.
- [2] MARION, J.B. THORNTON, S.T. **Classical Dynamics of Particles and Systems**, 5a. edição, Saunders College Publishing, 2004.

- [3] SOLAMON, J. **Learning about energy: how pupils think in two domains**, Eur. J. Sci Educ., 9: 49-59,1983.
- [4] VAREJÃO, Mario Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**, versão digital, Recife ,2005.
- [5] COFFEY, Jerry. **Earth's Orbit Around The Sun**. In: Universe Today, 2010. Disponível em: <http://www.universetoday.com/61202/earths-orbit-around-the-sun/>. Acesso em: 07 Jan. 2017.
- [6] MÁXIMO, Antônio. ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**, vol 1, Scipione, 2010.
- [7] TIPLER, Paul A. **Física Para Cientistas e Engenheiros**, vol. 1, 4ª edição, LTC, 2000.
- [8] JÚNIOR, Francisco Ramalho. FERREIRA, Nicolau Gilberto. SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os fundamentos da física**, 8ª edição, Editora Moderna, 2003.
- [9] SCHAPPO, Marcelo Girardi. **Medindo a Velocidade de Rotação da Terra em Casa**, Física na Escola, vol. 10, n. 2, 2009.
- [10] VALADARES, Eduardo de Campos. **Física Mais que Divertida**, Editora UFMG, 2002.