

O ensino do movimento retrógrado de Marte utilizando o software Stellarium e videoanálise

Teaching Mars retrograde movement using Stellarium software and video analysis

S.M. Beserra de Melo¹, V.L.B. de Jesus^{*1}, D.G.G. Sasaki²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, Brasil.

²Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Campus Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Recebido em 03 de junho de 2022. Revisado em 17 de agosto de 2022. Aceito em 24 de agosto de 2022.

Neste trabalho é apresentada uma proposta de atividade que utiliza uma simulação e um experimento lúdico, como forma de transposição didática, para o ensino do movimento retrógrado aparente de Marte. A simulação desse movimento foi realizada com o *software* livre *Stellarium*. Por sua vez, o experimento utilizou dois *fidget spinners* acoplados de maneira a fazer uma analogia com o movimento orbital da Terra e de Marte. Tanto na simulação quanto no experimento foi realizada a videoanálise utilizando o *software* livre *Tracker*. A atividade foi ordenada nas seguintes etapas: 1) Apresentar a simulação e sua videoanálise para ilustrar o movimento relativo de Marte no referencial da Terra; 2) Apresentar a videoanálise do movimento dos *fidget spinners* acoplados em três referenciais distintos, análogos aos referenciais do Sol (modelo heliocêntrico), da Terra (modelo geocêntrico) e de Marte; 3) Apresentar a videoanálise do movimento do centro de massa dos *fidget spinners* e discutir, qualitativamente, sobre a adequação do modelo heliocêntrico, na descrição dos movimentos dos planetas do sistema solar.

Palavras-chave: Ensino de física, Astronomia, Videoanálise, *Fidget spinner*, *Stellarium*.

This work presents a proposal of a teaching activity that uses a simulation and a ludic experiment as a form of didactic transposition for the teaching of the apparent retrograde motion of Mars. This simulation was performed by a free software called *Stellarium*. In turn, the experiment used two fidget spinners coupled in order to make an analogy with the orbital movement of Earth and Mars. Both in the simulation and experiment it was made a video analysis using a free software called *Tracker*. The activity was ordered in the following steps: 1) Present the simulation and its video analysis to illustrate the relative movement of Mars considering the referential frame of the Earth; 2) Present the video analysis of the coupled fidget spinners movement in three different references frames, similar to the references frames of the Sun (heliocentric model), the Earth (geocentric model) and the Mars; 3) Present the video analysis of the center of mass of the fidget spinners and qualitatively describe the use of the heliocentric model, in the description of the movements of the planets of the solar system.

Keywords: Physics teaching, Astronomy, Video analysis, Fidget spinner, Stellarium.

1. Introdução

A Educação em Astronomia ganhou importância nas reuniões da SAB (Sociedade Astronômica Brasileira) no início do século XXI [1]. Apesar da evidência das vantagens e justificativas do ensino dessa área de conhecimento, apontadas pelos pesquisadores da área, parece ainda haver um descaso quanto à abordagem dessa temática na educação brasileira [2]. Discutir o tamanho relativo dos planetas e do Sol [3], por exemplo, poderia ser uma maneira de introduzir o estudante ao estudo dessa grande área.

Este trabalho propõe uma atividade didática para analisar o movimento de Marte, tanto no referencial geocêntrico (Terra) como no referencial heliocêntrico (Sol). O sistema Sol-Terra-Marte foi o único analisado neste trabalho.

Como o movimento retrógrado aparente de Marte ocorre aproximadamente a cada dois anos, num intervalo de cerca de cinco meses, a observação direta do movimento, além dos custos de equipamento, seria demorada e inviável de ser aplicada em qualquer momento do ano nas escolas.

Sendo assim, a primeira etapa deste trabalho consistiu em utilizar o *software Tracker* [4] para análise de um vídeo de uma simulação do movimento retrógrado aparente de Marte, fornecida pelo *Stellarium* [5], no referencial da Terra. O *Stellarium* e o *Tracker* são *softwares* livres que têm sido utilizados no ensino de astronomia, de forma isolada [6–9] ou em um mesmo trabalho, mas em atividades distintas [10].

Na segunda etapa, foi feita a videoanálise, utilizando o *Tracker*, do movimento de dois *fidget spinners* idênticos acoplados e girando. O *spinner* é um brinquedo que pode ser aproveitado para ensinar diversos tópicos de física, como movimento circular uniforme, momento de

* Endereço de correspondência: vitor.jesus@ifrj.edu.br

inércia, momento angular, etc. [11–15]. Com o intuito de fazer uma analogia entre os movimentos dos *spinners* acoplados e o movimento orbital relativo de Marte, foi acrescentada uma extensão em um deles, para que a razão entre o centro dos *spinners* e o ponto escolhido para a análise fossem proporcionais à razão entre as distâncias médias Terra-Sol e Marte-Sol [16]. Foram reproduzidas também a razão entre as velocidades angulares da Terra e de Marte.

Na terceira etapa, são apresentados os dados da videoanálise dos *fidget spinners* em três referenciais distintos, análogos aos referenciais do Sol (modelo heliocêntrico), da Terra (modelo geocêntrico) e de Marte, utilizando uma proporção dos valores reais de massa desses astros [17].

2. Simulação

A simulação foi feita no *Stellarium* tendo como localização da observação virtual a capital do Rio de Janeiro, nas coordenadas $22^{\circ}53'51.2''S$ $43^{\circ}21'07.7''W$. O período escolhido foi de 26/07/2020 a 13/12/2020, em que é possível capturar todo o movimento retrógrado aparente de Marte, que ocorre ao longo das estrelas da constelação de Peixes, usada como referência de fundo na esfera celeste. O planeta a ser observado é selecionado no *software* para que seja possível acompanhar a sua posição relativa à Terra em todos os registros de imagem.

Como o objetivo da simulação é obter imagens das posições de Marte em relação à Terra, de maneira que seja possível identificar visualmente o seu movimento retrógrado aparente, o início dos registros contemplam datas antes e depois do intervalo de tempo em que Marte realiza esse movimento.

Para construir o vídeo da simulação é necessário fazer uma captura de tela para cada intervalo, aproximadamente igual, de tempo dentro deste período. Foi escolhido um espaçamento de cinco dias entre cada figura, o que significa que a filmagem da simulação representa uma frequência de um frame a cada cinco dias.

O astro deve estar aproximadamente no mesmo ângulo zenital¹ em todas as capturas de tela, pois o registro dessa imagem precisa enquadrar sempre a mesma região da esfera celeste delimitada pelas coordenadas esféricas e que contém Marte e a constelação de Peixes. A cada imagem o *software* fornece o valor do ângulo zenital. Manualmente, o horário de observação foi modificado até a obtenção aproximada do mesmo ângulo zenital.

Para que a filmagem resultante da simulação enquadre apenas o movimento retrógrado aparente de Marte,

¹ Ângulo zenital e azimutal são ângulos de coordenadas esféricas utilizados em observações astronômicas. Ângulo zenital, ou distância zenital, é o ângulo que parte do zênite e termina no astro. Azimute é o ângulo medido a partir do horizonte que parte do norte geográfico e termina na projeção do astro sobre círculo horizontal [18].

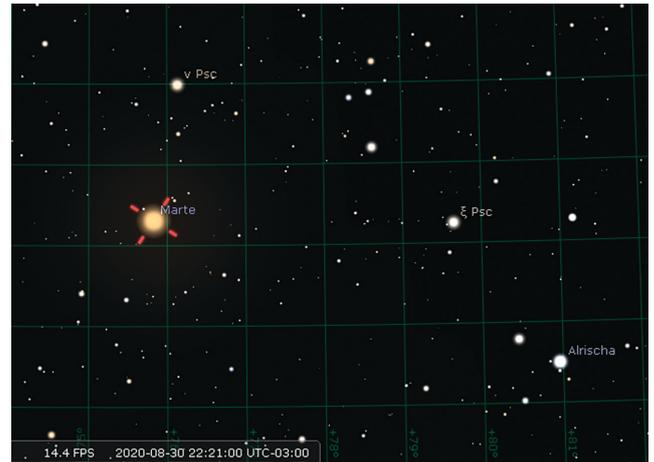


Figura 1: Captura de tela da simulação de Marte, em laranja, numa região espacial observada do referencial da Terra. As linhas quadriculadas representam o espaçamento de um grau entre os ângulos azimutais e zenitais, em coordenadas esféricas.

todas as figuras retiradas do *software* foram recortadas tendo como padrão de recorte as mesmas áreas quadriculadas que representam as coordenadas espaciais. A área de recorte foi delimitada de forma a contemplar todo o movimento do astro durante o período retrógrado.

Todas as figuras retiradas das capturas de tela (ver exemplo de uma das telas na Fig. 1) foram agrupadas e convertidas em um vídeo através do *software* Fotos, que vem incluso no sistema operacional do *Windows* 10 e possui o recurso de criar vídeos no formato de arquivo *mp4*, a partir de fotos ordenadas sequencialmente no tempo. O vídeo da simulação foi disponibilizado no *YouTube* para acesso público [19]. No *software* Tracker o movimento de Marte é analisado e é aplicado um filtro de luz para reduzir o brilho dos outros astros e um filtro de estrobo para gerar uma figura estroboscópica do movimento retrógrado aparente de Marte, no referencial da Terra.

A Fig. 2 mostra o movimento retrógrado aparente de ida e vinda de Marte com um formato similar à um laço. O tempo que levará para o planeta realizar o movimento retrógrado e o formato desse laço irá depender do período de revolução do planeta e o raio de sua órbita. Na referência [20] é possível visualizar simulações do movimento retrógrado de diversos planetas do sistema solar.

3. Experimento

A filmagem do movimento de rotação dos *spinners* foi realizada utilizando a câmera do *smartphone* Motorola G6 Play, que grava em 30 frames per second (fps). O *smartphone* foi posicionado paralelo ao movimento a uma altura de aproximadamente 25 cm, num ambiente com bastante incidência de luz solar. O vídeo do experimento foi disponibilizado no *YouTube* para

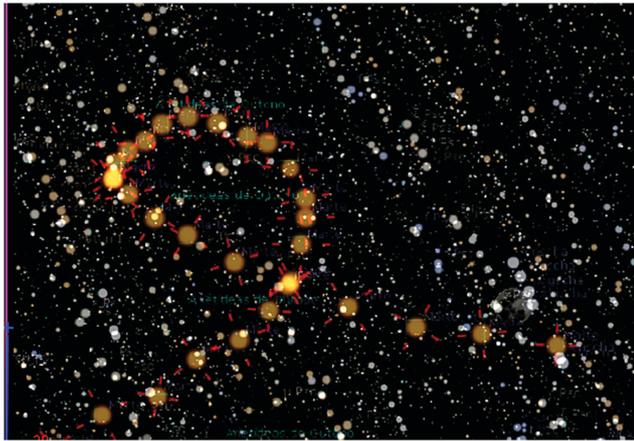


Figura 2: Foto estroboscópica do movimento retrógrado aparente de Marte (pontos em cor laranja) simulado no *software Stellarium* no referencial da Terra. Figura retirada do *Tracker*. Os diversos pontos luminosos no fundo correspondem aos outros astros que estavam ao redor de Marte em cada captura de tela realizada.

acesso público [21]. Os dados foram obtidos pelo *software Tracker* marcando os pontos manualmente, devido ao arrasto de imagem que impossibilitaria a utilização do *autotracker*.²

Com o mesmo vídeo foi analisado o movimento de três pontos de massa, o centro do movimento, o de um ponto fixo do primeiro *spinner* e o de um ponto fixo do segundo *spinner*, representando respectivamente o Sol, Terra e Marte. As distâncias entre esses três pontos são proporcionais às distâncias Terra-Sol, $1,5 \times 10^{11}$ m, e Marte-Sol, $2,3 \times 10^{11}$ m, numa razão de $3,5 \times 10^{12}$ entre o tamanho real e o tamanho usado no experimento. Para que o *spinner* que representa Marte ficasse maior, respeitando a proporção de distância Marte-Sol, foi acrescentado um pedaço de cartolina recortado em baixo dele. Para facilitar a videoanálise, foi pintado um ponto colorido nos *spinners* representando cada um dos pontos de massa.

Com o vídeo analisado, foi selecionado um trecho em que as velocidades angulares são aproximadamente constantes e a razão entre elas é, aproximadamente, igual à razão das velocidades angulares de Terra-Marte. Como a velocidade angular do movimento orbital da Terra é $2,0 \times 10^{-7} \frac{rad}{s}$ e a velocidade angular orbital de Marte é $1,06 \times 10^{-7} \frac{rad}{s}$, logo a sua razão é 1,9. São coletados os dados de pelo menos um ciclo de cada *spinner*, com o intuito de visualizar suas órbitas completas.

Na Fig. 3, o sinal das velocidades angulares está negativo devido ao fato de o movimento de rotação

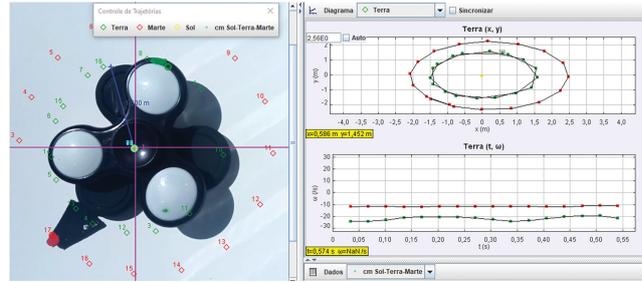


Figura 3: Captura de tela da videoanálise do movimento dos *spinners* acoplados. À direita é mostrado o gráfico da posição (y) em função da posição (x) e o gráfico da velocidade angular (ω) em função do tempo (t). Os gráficos dos movimentos que representam a Terra estão em cor verde, e aqueles que representam Marte, em cor vermelha.

dos *spinners* ocorrer no sentido horário. Essa escolha é arbitrária, desde que a razão entre as duas velocidades angulares obtidas, seja aproximadamente igual à razão das velocidades angulares dos astros.

Não foram coletados os dados de mais de um ciclo, devido à dissipação de energia que ocorre durante o movimento de rotação dos *spinners*, o que faz com que a velocidade angular reduza ao longo do tempo. Devido a essa dissipação de energia, existem flutuações nos valores médios de velocidade angular de cada um dos pontos analisados. No ponto que representa um movimento análogo ao da Terra, a velocidade angular é de $(22 \pm 2) \frac{rad}{s}$, em módulo, com uma flutuação de 9,09%.³ Já o ponto que representa o movimento análogo ao de Marte, possui uma velocidade angular de $(11,5 \pm 0,3) \frac{rad}{s}$, em módulo, com uma flutuação de 2,61%. Com isso temos que a razão entre a velocidade angular dos dois pontos é de aproximadamente 1,91, o que é suficientemente próximo da razão das velocidades angulares Terra-Marte.

Após a seleção do trecho adequado para a análise e que melhor representa o movimento da Terra e de Marte com os *spinners*, foi feita uma mudança de referencial do Sol para a Terra, como mostra a Fig. 4, e do Sol para Marte, como mostra a Fig. 5.

Na Fig. 4 fica evidente como são os movimentos relativos dos astros no referencial da Terra, com o Sol circundando a Terra, que é o centro do sistema de eixos ordenados e Marte também a circundando, porém, em um trecho de sua trajetória, realizando um movimento retrógrado. Comparando com a Fig. 2, obtida pela simulação, é possível constatar a semelhança entre as duas imagens.

A Fig. 5 mostra os movimentos relativos dos astros no referencial de Marte, com o Sol circundando o planeta. A Terra, por sua vez, realiza o mesmo movimento relativo

² *Autotracker* é uma função disponível no *software Tracker* em que a partir da seleção de um ponto na filmagem os demais são selecionados por reconhecimento de imagem tendo o primeiro como referência. Devido à distorção da imagem do objeto de referência por conta da alta velocidade, torna-se inviável a seleção automática dos pontos.

³ Em cada caso, a velocidade angular, e sua respectiva incerteza, foi obtida a partir do ajuste linear do gráfico velocidade angular versus tempo, realizada no próprio *software Tracker*.

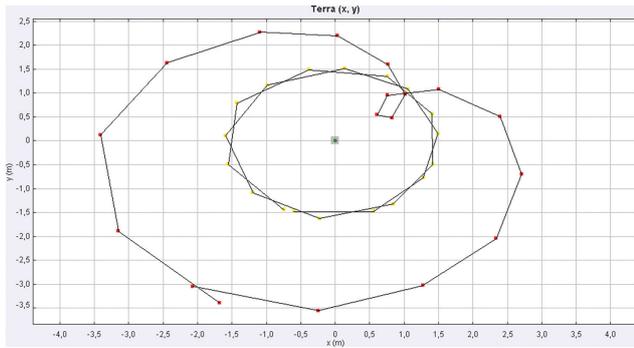


Figura 4: Gráfico da posição (y) em função da posição (x) no referencial da Terra, referencial geocêntrico; gráfico dos movimentos que representam a Terra, em cor verde, que representam Marte, em cor vermelha, e o Sol, em cor amarela. Captura de tela retirada do *Tracker*.

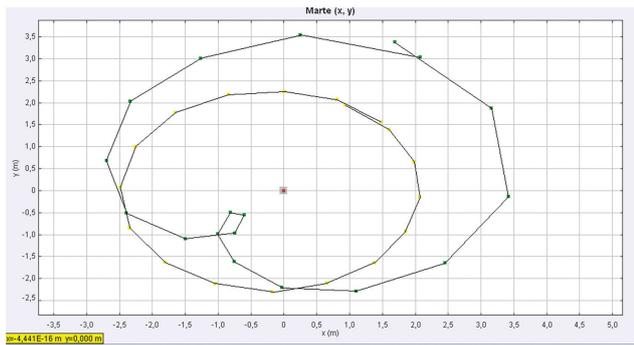
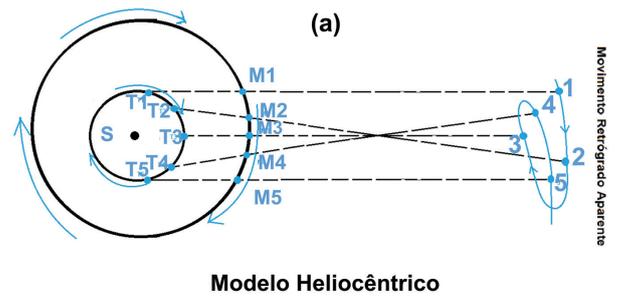


Figura 5: Gráfico da posição (y) em função da posição (x) no referencial de Marte; gráfico dos movimentos que representam a Terra, em cor verde, que representam Marte, em cor vermelha, e o Sol, em cor amarela. Captura de tela retirada do *Tracker*.

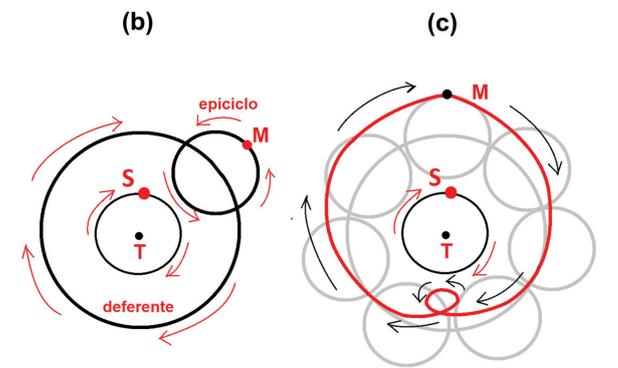
que Marte executava no referencial da Terra, porém espelhado, visto que houve uma mudança de referencial entre os dois planetas.

Com esse experimento é possível mostrar a trajetória desses astros no referencial de cada um dos planetas e explicar que o movimento retrógrado aparente dos planetas aparece apenas devido ao movimento relativo entre eles.

A Fig. 6 ilustra uma comparação entre o modelo heliocêntrico de Copérnico (Fig. 6a) e o modelo geocêntrico de Ptolomeu (Figs. 6b e 6c). No modelo heliocêntrico, o movimento retrógrado aparente de Marte é fruto da diferença entre os períodos de translação da Terra e de Marte. Os pontos T1 (M1), T2 (M2), T3 (M3), T4 (M4) e T5 (M5) representam a Terra (Marte) em momentos distintos de suas trajetórias. Os pontos 1, 2, 3, 4 e 5 representam a posição de Marte no céu visto por um observador situado no planeta Terra. No modelo geocêntrico de Ptolomeu, o Sol orbita circularmente a Terra e Marte realiza um movimento que pode ser combinado por dois movimentos circulares (Marte orbita um ponto fictício que, simultaneamente, realiza um movimento



Modelo Heliocêntrico



Modelo Geocêntrico de Ptolomeu

Figura 6: (a) Representação do movimento retrógrado de Marte, visto da Terra, no modelo heliocêntrico. No centro está o Sol (S) sendo orbitado pelos planetas Terra (T) e Marte (M). (b) Representação do modelo geocêntrico proposto por Ptolomeu. No centro está o planeta Terra sendo orbitado pelo Sol e por Marte. (c) Representação do movimento resultante de Marte, visto da Terra, no modelo geocêntrico proposto por Ptolomeu.

circular ao redor da Terra – essa trajetória é chamada de deferente) [22]. O resultado dessa combinação é ilustrado na Fig. 6c. É possível observar que a Fig. 6c descreve a mesma trajetória que aquela apresentada na Fig. 4. Em ambos os modelos, o movimento retrógrado aparente surge apenas quando o movimento de Marte é observado no referencial da Terra [23].

4. Análise do Centro de Massa do Sistema

Uma discussão que pode ser abordada em sala de aula, tão importante quanto a explicação do movimento retrógrado aparente dos planetas, é o papel do centro de massa do sistema solar para a descrição dos movimentos desses astros.

Para construir o gráfico do centro de massa no *Tracker*, basta criar um objeto ‘*Centro de Massa*’ e selecionar as partículas que deseja incluir. A Fig. 7 mostra o gráfico da posição de cada uma das partículas e do centro de massa, colocando valores unitários iguais em cada ponto de massa. Nesse caso, o centro de massa do sistema irá

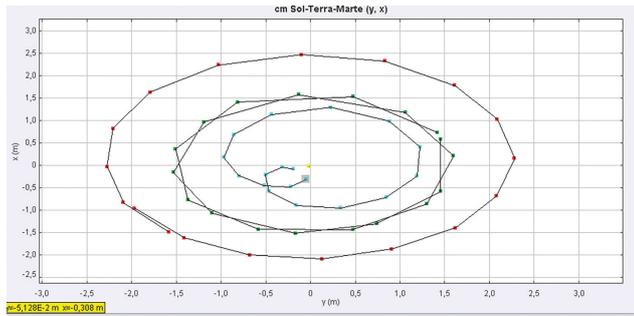


Figura 7: Gráfico da posição (y) em função da posição (x) no referencial do Sol e com os valores de massa unitários; gráfico dos movimentos que representam a Terra, em cor verde, que representam Marte, em cor vermelha, o Sol, em cor amarela e o centro de massa do sistema, em cor azul. Captura de tela retirada do *Tracker*.

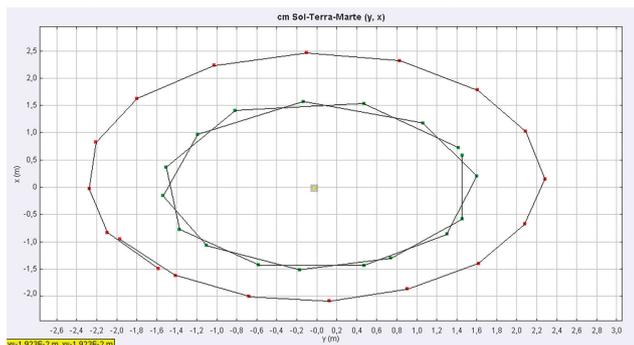


Figura 8: Gráfico da posição (y) em função da posição (x) no referencial do Sol e com os valores de massa proporcionais aos valores de cada astro; gráfico dos movimentos que representam a Terra, em cor verde, que representam Marte, em cor vermelha, o Sol, em cor amarela e o centro de massa do sistema, em cor azul. Captura de tela retirada do *Tracker*.

variando de acordo com a configuração espacial dos objetos, porque cada partícula possui o mesmo valor de massa e suas coordenadas espaciais isoladas variam ao longo do tempo.

Já a Fig. 8 mostra o mesmo gráfico considerando os valores de massa proporcionais aos valores reais de massa para cada astro. Foi utilizada a razão entre a massa do astro e a massa da Terra, tomando o valor da massa da Terra como unitário (T). Sendo assim, a massa de Marte torna-se igual à $0,110 T$ e a massa do Sol igual à $3,333 \cdot 10^5 T$.

Na Fig. 8, o centro de massa ficou praticamente na mesma localização que o Sol. A figura ilustra de forma didática que apesar de os planetas serem massivos, proporcionalmente, eles praticamente não afetam o centro de massa do sistema solar, pois o Sol tem uma massa muito superior, em comparação a eles.

Adotando o referencial do centro de massa do sistema solar, que neste caso é praticamente igual à posição do Sol, o modelo heliocêntrico proposto por Copérnico descreve adequadamente o movimento dos planetas.

5. Conclusões

A utilização da simulação obtida com o software *Stellarium*, em conjunto com a videoanálise dos *fidget spinners*, através do software *Tracker*, ilustra de forma clara como ocorre o movimento retrógrado aparente de Marte. A mesma trajetória, em forma de um laço, aparece em ambos os casos.

Por meio da atividade proposta é possível também abordar o conceito de mudança do referencial geocêntrico para o heliocêntrico, explicando a importância de analisar os movimentos dos planetas no referencial do centro de massa do sistema, que praticamente coincide com o centro do Sol. A atividade esclarece que o movimento retrógrado dos planetas, visto por observadores na Terra, é apenas um movimento aparente devido ao referencial adotado.

Referências

- [1] P.S. Bretones, J. Megid Neto e J.B.G. Canalle, *Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira* 26, 55 (2006).
- [2] R. Langhi e R. Nardi, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* 14, 41 (2014).
- [3] J.B.G. Canalle e I.A.G. Oliveira, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 11, 141 (1994).
- [4] *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education*, <https://physlets.org/tracker/>, acessado em 10/09/2021.
- [5] *Stellarium*, <https://stellarium.org/pt/>, acessado em 10/09/2021.
- [6] M. Belloni, W. Christian e D. Brown, *The Physics Teacher* 51, 149 (2013).
- [7] S. Hughes, *Science Education News* 57, 83 (2008).
- [8] M. Pacheco, J. Lima e M. Zanella, em: *V Simpósio Nacional de Educação em Astronomia SNEA* (Londrina, 2018).
- [9] B.F. Rizzuti e J.S. da Silva, *Revista Brasileira de Ensino de Física* 38, 3302 (2016).
- [10] A. Salazart, *Utilizando luas do sistema solar para associar o movimento circular uniforme e o movimento harmônico simples através do método Instrução pelos Colegas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pampa, Bagé (2016).
- [11] D. Macisaac, *The Physics Teacher* 55, 384 (2017).
- [12] V.L.B. de Jesus e D.G.G. Sasaki, *The Physics Teacher* 56, 639 (2018).
- [13] E. Pereira, *The Physics Teacher* 59, 577 (2021).
- [14] L. Mesquita, G. Brockington, P.A. de Almeida, M.E. Truyol, L.A. Testoni e P.F.F. Sousa, *Physics Education* 53, 045024 (2018).
- [15] D.G.G. Sasaki e V.L.B. de Jesus, *Revista Brasileira de Ensino de Física* 42, e20190223 (2020).
- [16] NASA, *Planetary Fact Sheet*, disponível em: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>, acessado em 10/09/2021.
- [17] NASA, *Sun Fact Sheet*, disponível em: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>, acessado em 10/09/2021.

- [18] K.S. Oliveira Filho e M.F.O. Saraiva, *Sistemas de Coordenadas*, disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>, acessado em 08/10/2021.
- [19] <https://youtu.be/iC49Crp3VXQ>, acessado em 28/05/2022.
- [20] G.B. Lima Neto, *Órbitas Heliocêntricas e Geocêntrica*, disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/Orbitas/index.html>, acessado em 28/05/2022.
- [21] <https://youtu.be/yLnrpigeHks>, acessado em 28/05/2022.
- [22] F. Damasio, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **33**, 3602 (2011).
- [23] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica 1: Mecânica* (Edgard Blücher, São Paulo, 2002). 4 ed.