



<http://dx.doi.org/10.23925/2237-9657.2021.v10i1p168-179>

Construindo o laço do planeta marte em relação às estrelas distantes no sistema copernicano

Constructing the Mars planet loop in relation to distant stars in the Copernican system

LUANA PAULA GOULART DE MENEZES¹

VITOR MARQUES PEREIRA²

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar uma proposta de construção aproximada do movimento de Marte, que gera para um observador na Terra um formato de laço em relação às estrelas distantes na perspectiva do sistema copernicano. Para tal, utilizaremos o conhecido software GeoGebra. Crescendo consideravelmente, o software está sempre sendo atualizado e chega a reunir fóruns e grupos, contando em sua plataforma com uma gigantesca variedade de atividades para a matemática e a ciência. Dentre as muitas possibilidades, o modelo que escolhemos nos gerará um cenário para se pensar sobre a história das ideias envolvidas. Acreditamos que por intermédio de trabalhos deste tipo é possível promover uma discussão mais ampla e interdisciplinar sobre os conceitos que utilizamos, indo além dos brevíssimos recortes apresentados em livros didáticos.

Palavras-chave: Movimento planetário. História das Ideias. Construção de Modelos.

ABSTRACT

The present work aims to present a proposal for an approximate construction of the Mars movement, which generates for an observer on Earth a loop shape in relation to distant stars in the perspective of the Copernican system. For this, we will use the well-known GeoGebra software. Growing considerably, the software is always being updated and comes to gather forums and groups, counting on its platform a huge variety of activities for mathematics and science. Among the many possibilities, the model we choose will provide us with a scenario to think about the history of the ideas involved. We believe that through works of this type it is possible to promote a broader and interdisciplinary discussion on the concepts we use, going beyond the very brief cutouts presented in textbooks.

Key-words: Planetary Movement. History of Ideas. Model Building.

Introdução

¹ Universidade Estadual de Maringá – UEM – lluanagoulart@gmail.com

² Universidade Estadual de Maringá – UEM – vitormarques@yahoo.com

Em um mundo cada vez mais digital, se faz importante garantir que as tecnologias modernas tenham espaço em sala de aula. Por toda parte podemos ver pessoas acessando mídias sociais, e tal crescente acessibilidade possibilitou novas perspectivas, uma vez que estamos cada vez mais inclinados a aceitar informações vindas dessa maneira. Inspirados nesse contexto, temos a inquietação de apresentar conceitos de forma diferenciada. Na Matemática e na Física, essa necessidade se torna ainda mais evidente, já que necessitam de um grau elevado de abstração e os alunos de hoje sentem-se desencorajados a aprender conteúdos que não lhes são apresentados de forma moderna. Entre os obstáculos à aprendizagem da matemática, por exemplo, podemos observar:

- Conceitos sem uma ilustração adequada,
- gráficos matemáticos são estáticos na forma clássica de ensinar matemática, ou seja, desenhando-os em pedaços de papel,
- objetos estáticos não permitem generalização do conceito (MAJEREK, 2014, p. 52, tradução nossa).

Além dessas, temos uma tendência em apresentar os conteúdos de forma descontextualizada, não trabalhando questões mais amplas sobre o desenvolvimento das ideias ou questões filosóficas e sociais. Um exemplo claro disso é que a história não tem um ponto final, como explicam Beltran et al. (2014, p. 31): “Um aspecto que muitas vezes passa despercebido é o fato que a História da Ciência não está pronta e acabada”, segundo os autores isso não significa que o motivo seja as novas frentes de pesquisa desenvolvidas, mas, a própria história da ciência de tempos em tempos encontra-se em processo de reinterpretação e reescrita.

Um estudo mais detalhado revela a natureza complexa da ciência, uma vez que o trabalho de quem a pratica não têm lugar à margem da sociedade, “[...] se vê afectado, logicamente, pelos problemas e circunstância do momento histórico, do mesmo modo que a sua acção tem uma clara influência sobre o meio físico e social em que se insere” (CACHAPUZ et al., 2011, p. 61). Quando os olhares não são ampliados e discutidos dão uma ideia de um progresso linear, em que uma ideia ingênua é substituída por uma outra sublime, proposta por um gênio da ciência. Na próxima seção apresentaremos uma breve contextualização sobre algumas teorias na busca do entendimento do Universo e veremos que o modelo copernicano não foi uma epifania do seu autor.

Devido aos conteúdos matemáticos envolvidos, recomendamos que nossa proposta seja desenvolvida com alunos do Ensino Superior, ou no Ensino Médio mediante adaptações para o nível. O tema que escolhemos faz parte da História da Física e acreditamos que:

A aplicação efetiva da tecnologia multimídia no ensino da física universitária pode

mudar a forma de informação, integrando gráfico, texto, som e imagem no PC, melhorando a força expressiva do conteúdo do ensino, de modo que os estudantes possam participar ativamente de atividades multimídia por intermédio de múltiplos sentidos, dominando o conhecimento ativamente ao invés da aceitação passiva (JIAN-HUA; HONG, p. 1897-1898, 2012, tradução nossa).

Deste modo, nosso objetivo é apresentar uma abordagem dinâmica e com reflexões históricas sobre o tema.

1. Uma construção Histórica

Não se pode negar que a história do desenvolvimento das teorias sobre os sistemas de mundo vai muito além do que apresentaremos a seguir, além de poderem ser revistas de diferentes ângulos. Ademais, é notório que muitos estudiosos dedicaram suas vidas a compreensão dos fenômenos celestes e sobre nosso lugar no Universo em diferentes períodos e contextos sociais, sedo que nem todos receberam reconhecimento e tiveram seus nomes escritos na história.

Nesta breve discussão, começaremos com Pitágoras. Segundo Sagan (1980, p. 183, grifo do autor), ele foi “[...] o primeiro a usar a palavra *Cosmos* com a conotação de um universo bem-ordenado e harmonioso, um mundo acessível à compreensão humana”. Não podemos afirmar com toda certeza que foi ele o primeiro a usar essa conotação e nem sequer podemos garantir que Pitágoras existiu ou foi apenas uma lenda. Todavia, a tradição, de fato, atribuiu a ele (ou aos pitagóricos) a ideia de harmonia e ordenação do universo. Em Dreyer (1953), encontramos várias discussões sobre Pitágoras, sendo que uma delas é de que seus membros juravam segredo em relação às doutrinas mais importantes. Segundo esse mesmo autor, a primeira publicação da escola é atribuída à Philolaus, que viveu um século depois de seu mestre, nativo do sul da Itália. Há evidências que permitem termos uma noção do sistema cósmico desse filósofo, contudo, não podemos dizer com certeza se é de sua autoria exclusiva ou se foi gradualmente desenvolvido por membros da filosofia pitagórica. Aristóteles, por exemplo, não cita Philolaus, mas sim “eles” em referência aos pitagóricos como vemos no trecho abaixo:

Eles recolhiam e sistematizavam todas as concordâncias que conseguiam mostrar entre os números e os acordes musicais, os fenômenos, as partes do céu e todo o ordenamento do universo. E se faltava alguma coisa, eles se esmeravam em introduzi-la, de modo a tornar coerente sua investigação. Por exemplo: como o número dez parece ser perfeito e parece compreender em si toda a realidade dos números, eles afirmavam que os corpos que se movem no céu também deviam ser dez; mas, como apenas nove podem ser vistos, eles introduziam um décimo: a Antiterra (ARISTÓTELES, A5, 2002, p. 27)

O sistema cósmico de dez corpos, mencionado por Aristóteles é constituído pela esfera das estrelas fixas, os cinco planetas (Saturno, Júpiter, Marte, Vênus e Mercúrio), o Sol, a Lua, a Terra e a Antiterra (invisível para um observador terrestre). Segundo Évora (1993, p. 21), “Cada planeta, cada estrela, era para eles um mundo tal como a Terra, rodeada de ar e flutuando no éter ilimitado”. O centro do Universo neste modelo é ocupado por um fogo central que seria o mais puro dos elementos, altar de Zeus e invisível para um observador terrestre.

Um outro modelo que não centra na Terra também foi proposto por Aristarchos de Samos, um grande astrônomo e geômetra. Contudo, seu tratado sobre isto é perdido:

O tratado em que Aristarco proclamou que o Sol, e não a Terra, era o centro do nosso mundo, o centro em torno do qual todos os planetas giravam – descoberta que constituía o clímax da cosmologia pitagórica e que Copérnico retornaria descobrir dezessete séculos depois – foi perdido! Felizmente, porém, temos o testemunho de autoridades não menos que as de Arquimedes e Plutarco, entre outras, e tanto as fontes antigas quanto os estudiosos modernos aceitam por unanimidade que Aristarco ensinou o sistema heliocêntrico (KOESTLER, 1981, p. 50, tradução nossa).

Estas leituras nos remetem a uma discussão expressa por Martins (2003), nas explicações para o texto *Commentariolus*, de que a falta de conhecimentos detalhados sobre os conteúdos dos trabalhos científicos que costuma levar a simplificações enganadoras:

Podemos imaginar que Copérnico simplesmente teve um lampejo e “viu” que o sistema heliocêntrico era o melhor. As coisas não são assim. Copérnico foi admirado, estudado e respeitado em sua época pelo alto nível de seu trabalho matemático de detalhe, não por haver simplesmente sugerido uma ideia. E isto que o distingue dos “Copérnicos da Antigüidade”. (MARTINS, 2003, p. 79)

Apesar de apresentarmos a seguir um modelo aparentemente simples, o trabalho de Copérnico é muito mais complexo do que pensamos. Complexidade esta, que também está presente nos inúmeros círculos que são usados pelo eminente astrônomo antes de Copérnico: Ptolomeu.

Para entendermos um pouco mais sobre as ideias de Ptolomeu, vamos imaginar que durante anos anotamos as posições aparentes dos planetas. Nesse caso não veríamos exatamente um círculo máximo e sim, uma forma irregular, que se afasta do círculo equinocial para norte e sul. Ademais, os nossos pontos também não

estariam igualmente espaçados, algumas vezes, notaríamos que o planeta está caminhando mais rapidamente, outros momentos mais lentamente, algumas vezes pára e recua (MARTINS, 2003). Este último movimento é chamado movimento retrógrado que descreve o “laço” que está representado na Figura 1. Na imagem, podemos ver uma linha que representa esse movimento (de Marte) ao longo de alguns meses com o fundo nas constelações. Ao lado do movimento de Marte, vemos uma representação do movimento de Saturno (uma sequência de pontos próximos brilhantes).

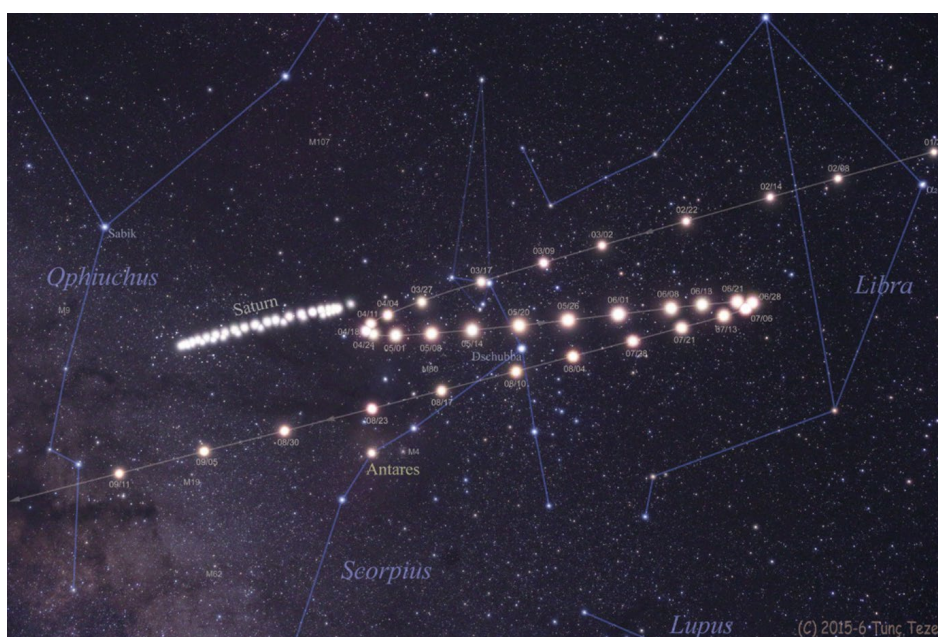


FIGURA 1: Marte e Saturno ao longo de alguns meses.

FONTE: Tunç Tezel, Astronomy Picture of the Day (NASA -16 september 15).³

Observe que na imagem os pontos observados nas extremidades do laço aparecem bem próximos. Isso acontece, porque antes de retroceder o planeta aparecerá praticamente estacionário por um tempo; depois que retrocede isso se repete e ele inverte seu movimento, seguindo seu curso natural.

O modelo de Ptolomeu explicava esse movimento retrógrado dos planetas por intermédio de epiciclos e excêntricos. Um de seus modelos que se tornou amplamente conhecido, consiste em um deferente que é uma circunferência cujo centro poderia ser a Terra ou poderia ser excêntrico. Os círculos menores, cujos centros pertenciam ao deferente eram chamados epiciclos. Já o equante seria um

³ Veja mais detalhes da imagem em: <<https://apod.nasa.gov/apod/ap160915.html>> . Acesso em 27 fev. 2021.

ponto em que a velocidade angular dos epiciclos era constante. Na Figura 2, a seguir, representamos o deferente (círculo com o centro em T) e o epiciclo (círculo com o centro em E). O planeta está girando no epiciclo e o centro deste gira sobre o deferente. A combinação desses movimentos determina os laços que podemos ver na imagem (em azul), isto é, o rastro do planeta no GeoGebra.

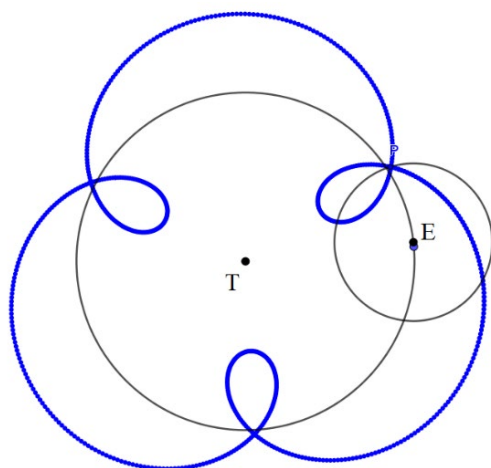


FIGURA 2: Epiciclo e Deferente.

A imagem representada acima é exageradamente simplificada, fato este que não é uma característica do movimento de qualquer planeta. É importante ressaltar que uma das vantagens sobre o uso do sistema epiciclo-deferente é a reprodução de uma característica qualitativa: “[...] o planeta só pode retroceder quando o seu movimento o leva para mais perto da Terra e essa é a posição em que o planeta deve aparecer, e é a mais brilhante” (KUHN, 2002, p. 77).

Ademais, os sistemas com essas combinações de círculos permitiam adaptações para uma gama de movimentos dos astros, uma vez que com as escolhas apropriadas nos tamanhos relativos dos epiciclos e deferentes e em suas velocidades era possível representar uma série de fenômenos. Por exemplo, “O movimento do Sol e da Lua pode ser tratado aproximadamente por um só deferente, porque estes planetas não têm o movimento retrógrado. O deferente do Sol dá uma volta uma vez no ano: o da Lua gira uma vez em $27^{1/3}$ dias [$\approx 27,3$ dias]” (KUHN, 2002, p. 79). Já o sistema epiciclo-deferente para Mercúrio envolvia o deferente girando “[...] uma vez num ano e o epiciclo uma vez em 116 dias” (KUHN, 2002, p. 79).

De todos os planetas um, em particular, intrigava os estudiosos: Marte. Este planeta, foi estudado por Kepler e após anos de dedicação o levou a sua obra *Astronomia nova*, que apresenta suas conhecidas “duas primeiras leis do movimento

planetário”. Segundo Sagan (1980, p. 51), “Um dos epítetos dados a Marte pelos antigos egípcios era *sekded-ef* em *khetkhet*, que significa ‘que viaja para trás’, uma clara referência ao seu movimento aparente retrógrado, ou que descreve uma volta para trás”.

Marte foi um dos planetas mais difíceis de ser estudado e Kepler, de forma muito rigorosa, gostaria que os dados do ilustre observador de sua época, Tycho Brahe (1546-1601), se encaixassem perfeitamente na base teórica dos modelos.

Sistema após sistema foi experimentado e rejeitado porque não se enquadrava às brilhantes observações de Brahe. Todas as soluções intermédias eram melhores do que os sistemas de Ptolomeu e de Copérnico; algumas davam erros inferiores a 8’ de arco, bem dentro dos limites da observação antiga. A maioria dos sistemas que Kepler rejeitou teria satisfeito todos os antigos astrónomos matemáticos. Mas estes tinham vivido antes de Brahe, cujos dados tinham exactidão de 4’ de arco. «A nós», disse Kepler, «A bondade Divina deu-nos um observador muito diligente em Tycho Brahe, e está certo, portanto, que com o espírito grato, façamos uso desta dádiva para encontrar a verdade dos movimentos celestes» (KUHN, 2002, p. 227).

Kepler acabou concluindo que nenhum sistema que fosse baseado em círculos resolveria seus problemas. Tentou órbitas ovais, que também não deu resultados melhores, até que finalmente encontrou uma forma familiar que fazia com que as observações e teoria se encaixassem: a elipse. Tal história é surpreendente, todavia, nossa proposta aqui é revisitarmos a proposta de Copérnico. Em seu modelo temos uma explicação simples e sofisticada para a formação do laço aparente contra o fundo das estrelas fixas: o movimento irregular é descrito como uma combinação do movimento da Terra e do planeta. Ainda que seu modelo precisasse dos resultados que Kepler obteve, temos ao menos em sua teoria uma boa noção do que acontece na realidade, isto é, uma boa explicação para os movimentos aparentes.

2. A proposta de Modelo

Para construção do modelo, escolhemos o GeoGebra que é um software dinâmico e gratuito criado Markus Hohenwarter em 2001/2002, na época, estudante de mestrado na Áustria. Sua proposta:

Combinava aspectos do software de geometria existente com o software de álgebra existente. A principal partida radical do

GeoGebra é um modo de negócios e desenvolvimento enraizado em uma comunidade internacional de código aberto. [...].

O GeoGebra está disponível em mais de 60 idiomas, traduzido por equipes de voluntários e é multiplataforma, disponível por meio de um navegador da Web ou como um aplicativo autônomo e para download que funciona na maioria dos dispositivos (RASMUSSEN, 2016, p. 2-3, tradução nossa).

Atualmente, em seu site, podemos postar, criar e compartilhar materiais em uma espécie de rede social dos usuários. Devido a este caráter, acreditamos que pode ser um veículo para divulgação científica, uma vez que em linguagem apropriada para um público mais amplo é possível inserir explicações em cada conceito.

Dessa forma, vamos passar agora para a construção do laço de Marte no sistema copernicano. Para tal, vamos considerar que as órbitas são circulares, apesar que sabemos pela conhecida “1ª Lei de Kepler” que a órbita é uma elipse com, ao contrário do que muitos acreditam, excentricidade bastante baixa: em torno de 0.017, atualmente. Além disso, observemos que o modelo de Copérnico é melhor chamado de *Heliostático*, pois o Sol, para ele, não se situa exatamente no centro universo. Contudo, para facilitarmos nossa construção, iremos considerar o Sol no centro do sistema, isto é, terá coordenadas $S = (0; 0)$. Também precisaremos de outras duas informações: a distância do Sol até a Terra é dada por 1 *UA* e do Sol até Marte, 1.52 *UA*. Deste modo, construiremos duas circunferências com estas unidades de medidas e com centro em S .

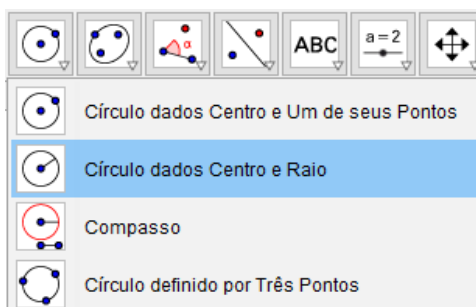


FIGURA 2: Ferramenta Círculo.

Agora, vamos construir um controle deslizante (a penúltima ferramenta da barra):

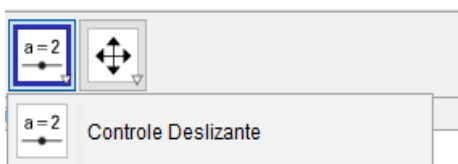


FIGURA 3: Controle deslizante.

Vamos selecionar a opção “ângulo” e o denotaremos por θ , com o mínimo de 0 rad e máximo de 3.14 rad . O incremento pode ser escolhido e no nosso caso colocamos 0.001 . É importante ressaltar que para usarmos os ângulos em radianos fomos em “Opções” na barra superior e, depois, clicamos em “Avançado” e selecionamos “Radianos” como unidade de medida de ângulos. O próximo passo é marcar os pontos que representarão Terra e Marte, respectivamente, usando coordenadas polares: na caixa de entrada iremos digitar $(1; \theta)$ e renomear o ponto para T . O nosso problema consiste agora em encontrar as coordenadas de Marte, M . Para isto, vamos começar usando a ideia de quadratura, isto é, iremos considerar que o ângulo $\widehat{STM} = 90^\circ$, em que a Terra T está no ponto $(1; 0)$, construindo a seguinte representação:

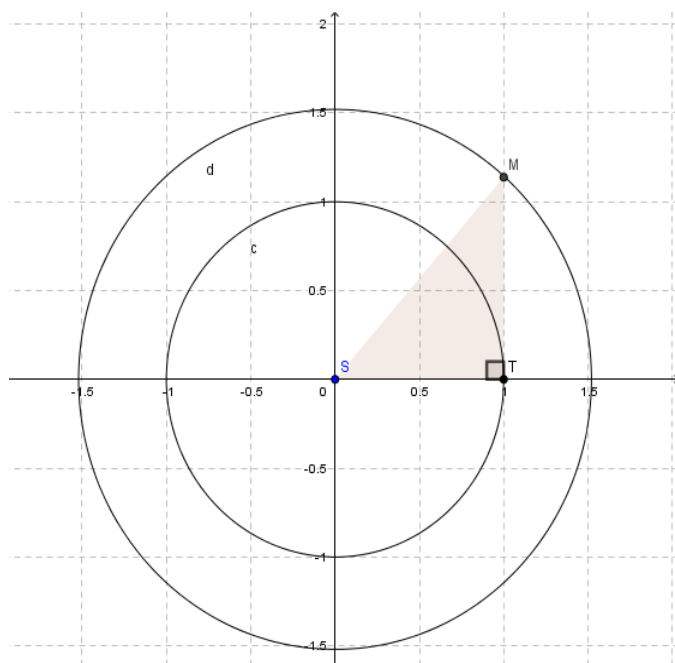


FIGURA 4: Triângulo Terra-Marte-Sol.

Como, na Figura 4, $\overline{ST} = 1$ e $\overline{SM} = 1.52$, obtemos que o ângulo \widehat{TSM} pode ser dado por:

$$\cos(\widehat{TSM}) = \frac{1}{1.52} \approx 0.66 \Rightarrow \widehat{TSM} \approx 48.86^\circ \approx 0.85 \text{ rad}$$

Como as coordenadas de Marte dependem do ângulo θ , M será:

$$M = (1.52; a \cdot \theta + 0.85)$$

De acordo com Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 56, grifo dos autores) “Observando Marte, Copérnico viu que o intervalo de tempo decorrido entre uma *oposição* e uma *quadratura* é de 106 dias”. Como em 365 dias a terra percorre 360° , temos que em 106 dias ela percorrerá:

$$\left(\frac{106}{365}\right) \cdot 360^\circ \approx 104.5^\circ \approx 1.82 \text{ rad.}$$

Segundo os mesmos autores o período de Marte é de 687 dias, ou seja, neste mesmo período de dias o planeta percorre:

$$\left(\frac{106}{687}\right) \cdot 360^\circ \approx 55.5^\circ \approx 0.97 \text{ rad.}$$

Desse modo, devemos ter:

$$a \cdot 1.82 = 0.97 \Rightarrow a \approx 0.53$$

Logo, $M = (1.52; 0.53 \cdot \theta + 0.85)$.

Agora, vamos construir uma semirreta \overrightarrow{TM} , marque um ponto R em tal semirreta o mais distante possível de M . Clique com o botão direito do mouse e vá em “habilitar rastro”.

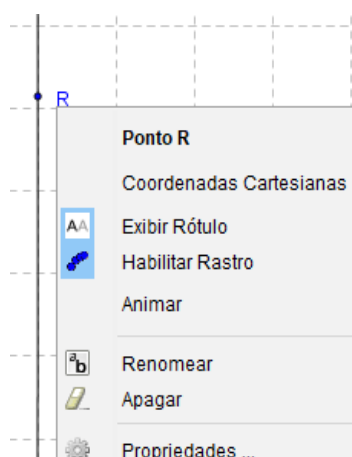


FIGURA 5: Habilitar Rastro.

Do mesmo modo vá ao controle deslizante, clique no botão direito do mouse e vá em “animar”. Finalmente, obtemos o “laço” desejado, como mostra a Figura 6.

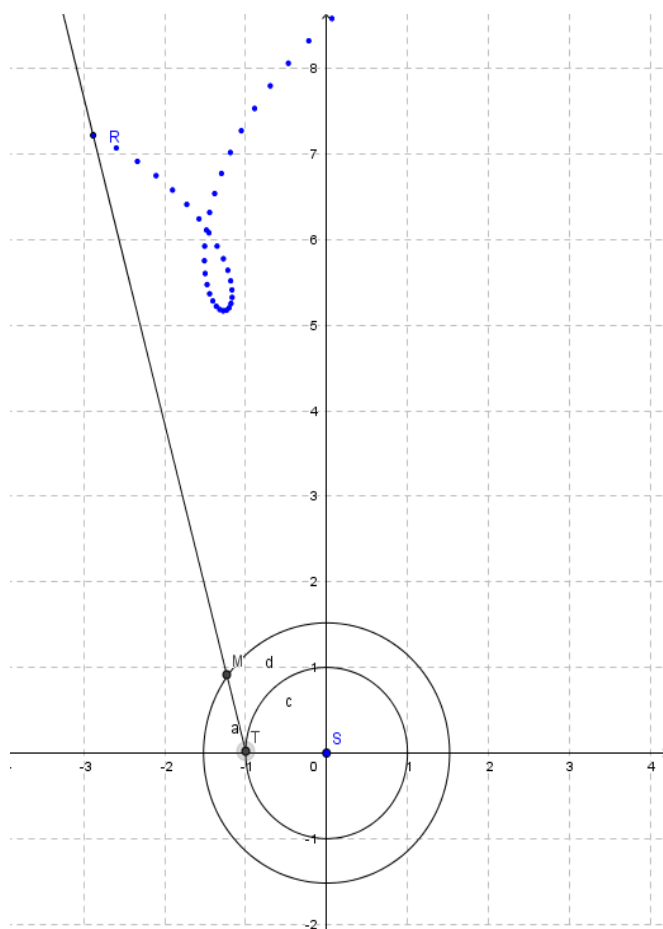


FIGURA 6: Habilitar Rastro.

3. Considerações Finais

No presente trabalho apresentamos uma simulação aproximada do movimento aparente de Marte em relação às estrelas distantes. Poderíamos apenas ter procurado uma animação na internet para exploração, contudo, acreditamos que construir o modelo foi uma oportunidade de rever conceitos teóricos e históricos.

Apesar de termos simplificado o modelo, um estudo aprofundado indicará certas complexidades e que modelos anteriores a Copérnico não são explicações ingênuas.

Acreditamos ser possível que o site GeoGebra se torne, cada vez mais, um veículo escolar e universitário para interagir e compartilhar construções da matemática e áreas correlatas. Ao se propor construir um modelo, é necessário ter uma atitude ativa, procurando os conceitos e, no caso que mostramos, perspectivas históricas. É claro que nem sempre é possível tal abordagem, mas em casos particulares acreditamos ser uma iniciativa válida.

Referências:

- ARISTÓTELES. **Metafísica**. Volume II: Texto grego com tradução ao lado. Tradução para o português de Marcelo Perine. São Paulo: Loyola, 2002.
- BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. S. P. **História da Ciência para formação de professores**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.
- CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A necessária renovação do Ensino das Ciências**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- COPÉRNICO, N. **Comentariolus**, trad. R. A. Martins, São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2003.
- DREYER, J. L. E. **A history of astronomy from Thales to Kepler**. New York: Dover, 1953. 438 p.
- KOESTLER, A. **Los Sonambulos**. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia Mexico, 1981.
- KUNH, T. S. **A revolução copernicana: a astronomia planetária no desenvolvimento do pensamento ocidental**. Lisboa: Edições 70, 2002.
- MAJEREK, D. Application of GeoGebra for Teaching Mathematics. **Advances in Science and Technology Research Journal**, vol. 8, no. 24, 2014, pp. 51-54.
- OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**, 2014.
- RASMUSSEN, M. **A Teacher's Guide to Using GeoGebra in Elementary School**. [S.l.: s.n.], 2016.
- SAGAN, C. **Cosmos**. New York, Random House, 1980.
- JIAN-HUA, S; HONG, L. Explore the Effective Use of Multimedia Technology in College Physics Teaching. **Energy Procedia**, v. 17, Parte B, p.1897-1900, 2012.

Recebido em 10/01/2020