



Videoanálise da chegada do rover Perseverance em Marte: aplicações no estudo da cinemática



Joice Martins Neves
Guilherme Frederico Marranghelo#
 Universidade Federal do Pampa,
 Campus Bagé, Bagé, RS, Brasil.

RESUMO:

Este trabalho utiliza os vídeos gravados durante o pouso da missão Perseverance em Marte para discutir assuntos relacionados à cinemática. Através da videoanálise, podemos determinar parâmetros como altitude, velocidade e aceleração em diferentes etapas, desde a entrada do rover na atmosfera até o pouso, passando pela abertura do paraquedas.

Palavras-chave: videoanálise; Marte; cinemática



1. Introdução

Marte sempre despertou nossa curiosidade e imaginação ao “enxergarmos” canais em sua superfície ou roteirizando invasões alienígenas. Os próximos anos prometem uma grande quantidade de missões com destino ao planeta vermelho [1, 2] e, quem sabe, até mesmo a primeira missão tripulada. Esta oportunidade que a exploração de Marte nos oferece não pode ser deixada de fora da sala de aula, como abordam os exemplos das Refs. [3-6].

No dia 18 de fevereiro de 2021, a Agência Espacial Norte Americana (NASA) colocou mais um rover na superfície do planeta Marte [7]. O rover Perseverance agora se junta a Sojourner, Spirit, Opportunity e Curiosity na coleção de rovers que exploram o solo do planeta vermelho. Logo em seguida, os chineses também desceram o rover Zhurong, e, claro, não podemos esquecer das mis-

sões conhecidas como *landers*, que, após descerem no solo marciano, não se movimentam mais, e os orbitadores que, como o próprio nome diz, ficam em órbita do planeta.

Além da incrível façanha de pousar um rover a milhões de quilômetros da Terra, após uma longa viagem de aproximadamente oito meses, a NASA ainda transmitiu a chegada da missão através de imagens em alta definição [8]. Isso nos permite pensar: como podemos utilizar esse material na disciplina de física dentro da sala de aula?

2. A conquista de Marte

A primeira ideia que vem à nossa mente é que podemos fazer uma videoanálise da descida do rover. Enquanto detalhamos a realização da videoanálise, vamos estudar a chegada do rover em Marte, de acordo com os dados obtidos no site da NASA e resumidos na Fig. 1. Recomendamos ao leitor

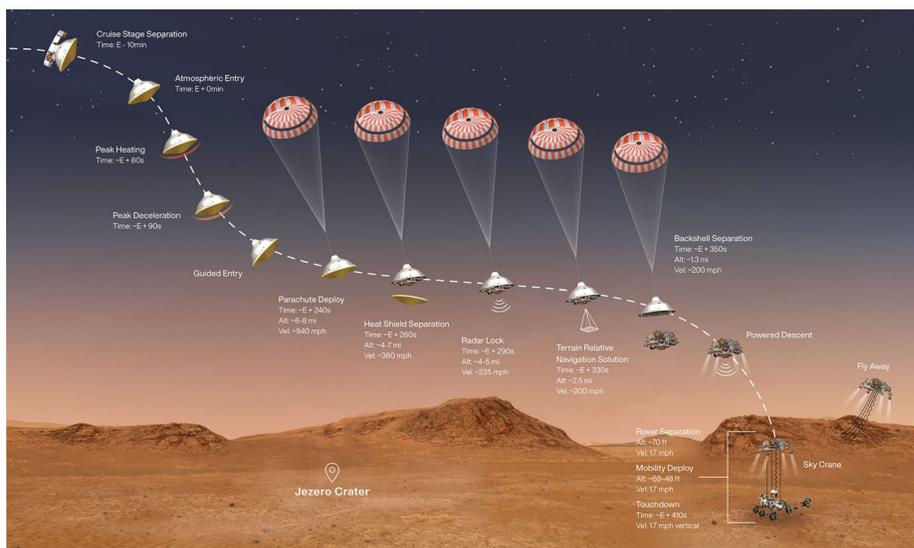


Figura 1 - Esquema de descida do rover Perseverance em Marte. Fonte: NASA [9].

#Autor de correspondência: E-mail: gfmarranghelo@gmail.com.

que assista ao vídeo disponível no canal oficial da NASA no YouTube por meio do *link* [8], pois, desde a abertura do paraquedas até o toque no solo marciano, é possível acompanhar a equipe da NASA detalhando a altitude e a velocidade da sonda.

Na Fig. 1, a primeira imagem, no canto superior à esquerda, representa o momento em que a sonda se separa do estágio de cruzeiro, marcando o tempo de 10 s antes da entrada na atmosfera, por isso apresenta o tempo negativo, $t = -10$ min, deixando o tempo zero para marcar a entrada na atmosfera. O vídeo analisado se inicia no momento de abertura do paraquedas, especialmente projetado para a missão devido à altíssima velocidade com a qual a sonda adentra na atmosfera marciana.

Depois, conforme mostrado na Fig. 1, ao reduzir a velocidade de 940 mph para 360 mph, a sonda libera o escudo térmico que a protegia das altas temperaturas geradas no momento da entrada na atmosfera. Antes mesmo de iniciarmos a videoanálise, podemos

destacar duas simples atividades a serem realizadas com os estudantes: a) transformação de unidades, de mph para m/s; e b) cálculo da aceleração escalar média nesse intervalo de 20 s, quando a sonda reduz sua velocidade em 580 mph.

Mas a videoanálise começa nesse momento de separação do escudo térmico. Para tal, utilizamos o software Tracker, disponível gratuitamente em [10]. O software já é amplamente divulgado nas revistas de ensino de física, como *A Física na Escola* e *Revista Brasileira de Ensino de Física*, e não nos deteremos na sua apresentação. Recomendamos ao leitor que busque algumas das referências aqui listadas [11-15]. Apresentamos na Fig. 2, uma captura de tela do software Tracker analisando a separação do escudo térmico, visto a partir da sonda que ainda está presa ao paraquedas.

Nesta etapa da descida, o escudo que antes descia com a mesma velocidade da sonda, agora, separado, passa a aumentar a sua velocidade até atingir a sua própria velocidade terminal. A ve-

locidade terminal de um objeto é atingida quando a força resultante sobre o corpo é zero e a sua velocidade não varia mais. De forma simplificada, isto acontece quando o arrasto produzido pela atmosfera aumenta até igualar o valor da força gravitacional. Mais detalhes sobre o movimento com resistência do ar podem ser encontrados na Ref. [14].

Uma oportunidade de estudo aqui diz respeito ao movimento relativo do escudo, com respeito à sonda, mas, antes de analisar esse movimento, precisamos detalhar a construção geométrica necessária para tal fim. Apresentamos os detalhes na Fig. 3, em que temos um objeto ao centro. Neste objeto, que pode ser a proteção térmica da sonda, marcamos dois pontos separados por uma distância d . Podemos construir um triângulo retângulo cuja altura, $a = d/2$, será o raio da proteção térmica, e sua base, b , corresponderá à distância entre a proteção térmica e o rover.

Conforme a proteção térmica se afasta, ela parece ficar menor, conforme mostrado na Fig. 3. Mesmo que o lado a do triângulo continue com o mesmo tamanho, ele aparece agora medindo uma altura c . Apesar da relação direta entre θ_1 e b_1 , a essência desta

A velocidade terminal de um objeto é atingida quando a força resultante sobre o corpo é zero e a sua velocidade não varia mais

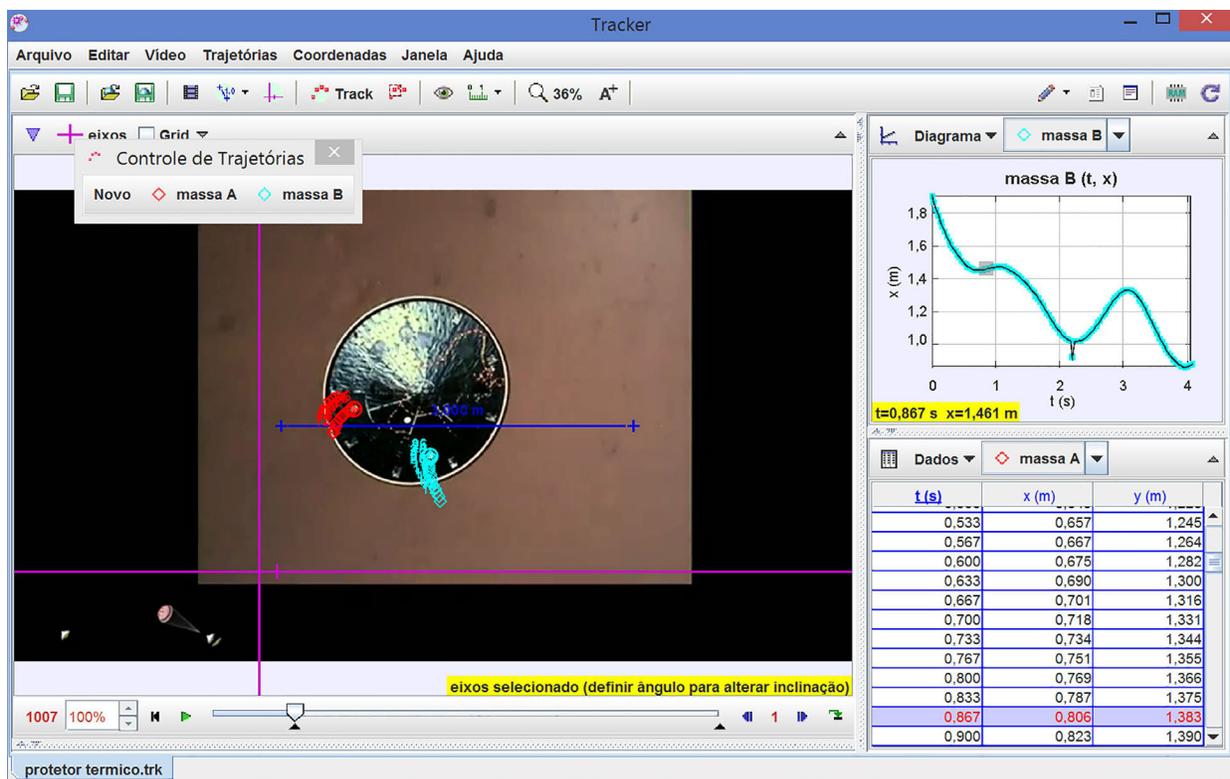


Figura 2 - Captura de tela do software Tracker analisando a separação do escudo térmico com dois pontos marcados no escudo, um em azul claro e outro em vermelho.

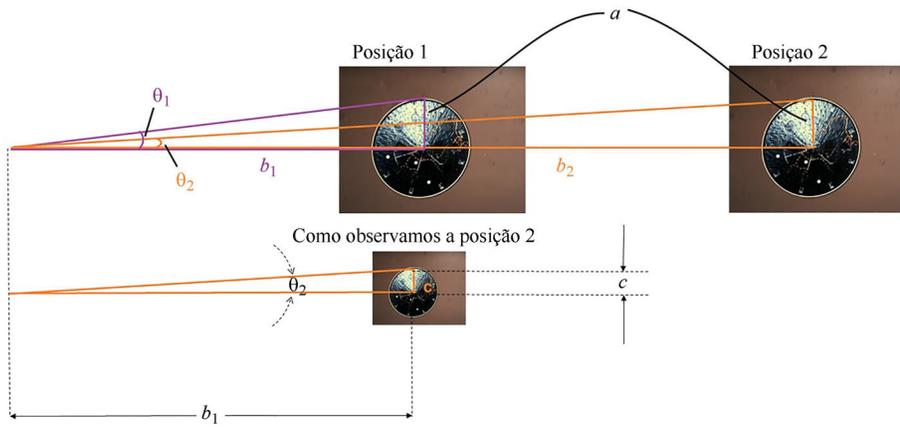


Figura 3 - Construção geométrica para o cálculo da posição de um objeto que se aproxima ou afasta.

construção passa pela relação de b_1 com θ_2 ; dessa forma, a partir da construção esquematizada na Fig. 3

$$\tan\theta_2 = \frac{c}{b_1} = \frac{a}{b_2},$$

podemos determinar a distância entre o escudo térmico e o rover através da equação

$$b_2 = \frac{a \cdot b_1}{c}.$$

Assim, a velocidade relativa entre a sonda que permanece presa ao paraquedas e o escudo térmico pode ser calculada através de

$$v_1 = \frac{\frac{a \cdot b_1}{c} - b_1}{\Delta t} = \frac{b_1}{\Delta t} \left(\frac{a}{c} - 1 \right).$$

Agora sim podemos avaliar o movimento relativo do escudo térmico, lembrando que esta mesma construção será válida para as demais atividades propostas adiante neste texto. A Fig. 4 apresenta o gráfico de velocidade relativa do escudo como função do tempo. Os dados não são precisos quanto à determinação das posições de cada ponto, que se torna percentualmente mais relevante à medida que o disco diminui. Apesar destas imprecisões impostas pela análise, é possível distinguir duas etapas do movimento: o primeiro segundo do movimento analisado mostra o aumento linear da velocidade, enquanto os instantes posteriores mostram que esta velocidade parece estabilizar em torno do valor de 3,0 m/s. Essa mudança no comportamento da velocidade é causada pelo fato de o escudo térmico, que inicialmente se movimentava com a sonda, atingir sua velocidade terminal pouco tempo após sua liberação.

Ao liberar o escudo térmico, a sonda inicia um mapeamento do solo marciano para direcioná-la ao local de pou-

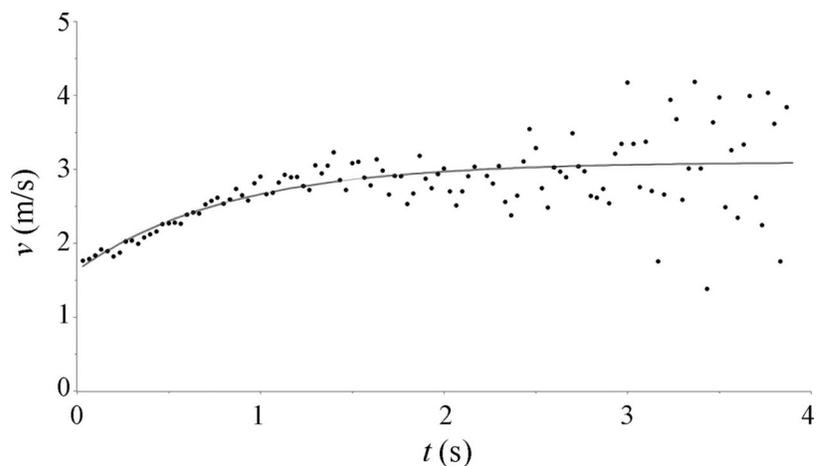


Figura 4 - Velocidade relativa do escudo térmico como função do tempo.

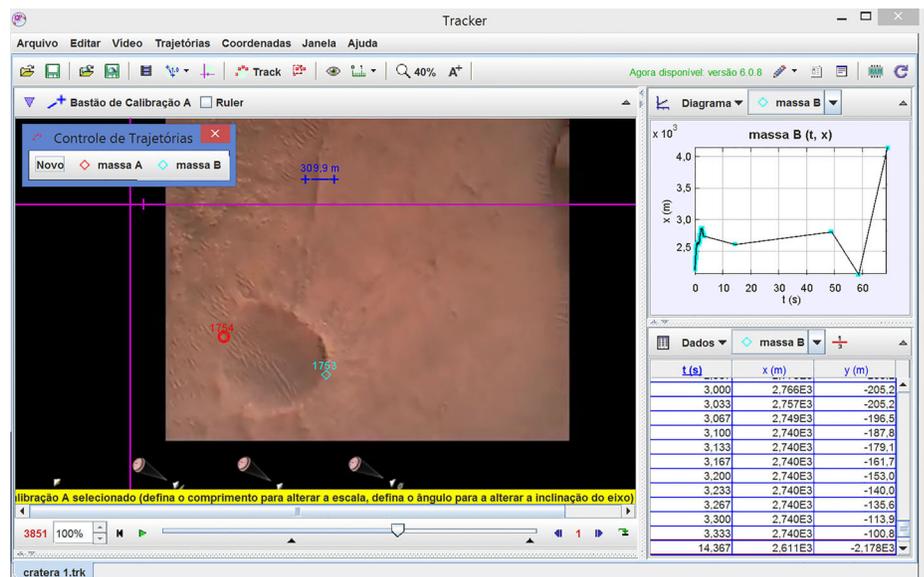


Figura 5 - Captura de tela do software Tracker monitorando o tamanho da cratera.

so. Uma cratera se destaca nesta descida, pois, apesar de sumir da imagem em um dado momento, ela reaparece e permite o monitoramento da descida. O tamanho da cratera e de outras estruturas do solo marciano pode ser obtida em outro site da NASA [16]. A Fig. 5 mostra que utilizamos as extremidades da cratera como referência para a descida.

Ao fazermos este monitoramento, podemos medir facilmente a altitude da sonda. Para determinarmos a altura inicial, utilizamos a narração do vídeo que menciona a altura de 6,6 km para o instante em que iniciamos nossas medidas. O gráfico de altitude como função do tempo, apresentado na Fig. 6, permite aos alunos calcular a velocidade de descida da sonda em cada trecho.

Finalmente, ao atingir a altitude de

aproximadamente 20 m, o rover desce através de cabos até a superfície. Embo-

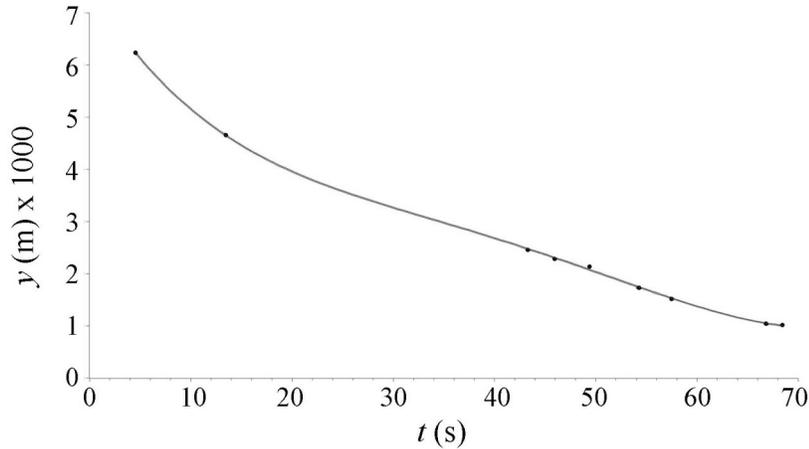


Figura 6 - Altitude como função do tempo.

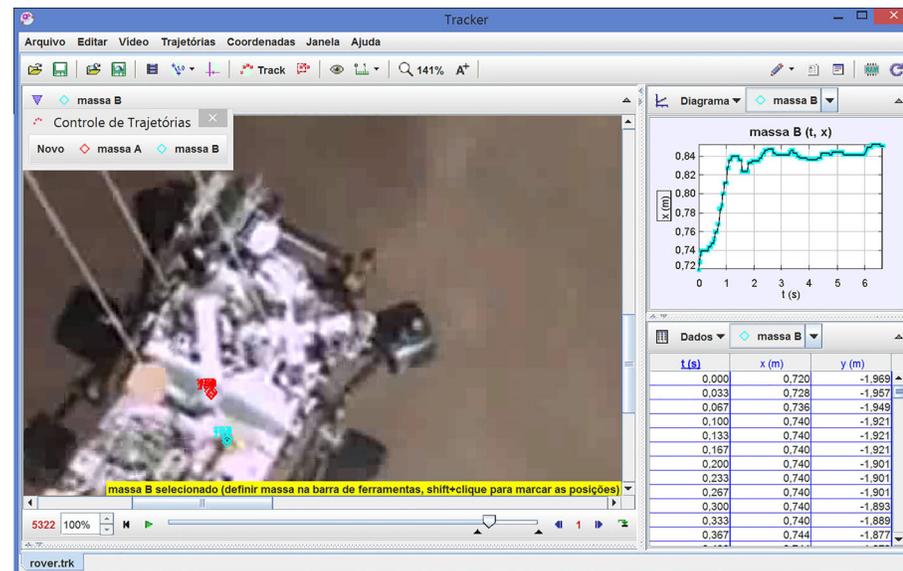


Figura 7 - Captura de tela do software Tracker monitorando a descida do rover.

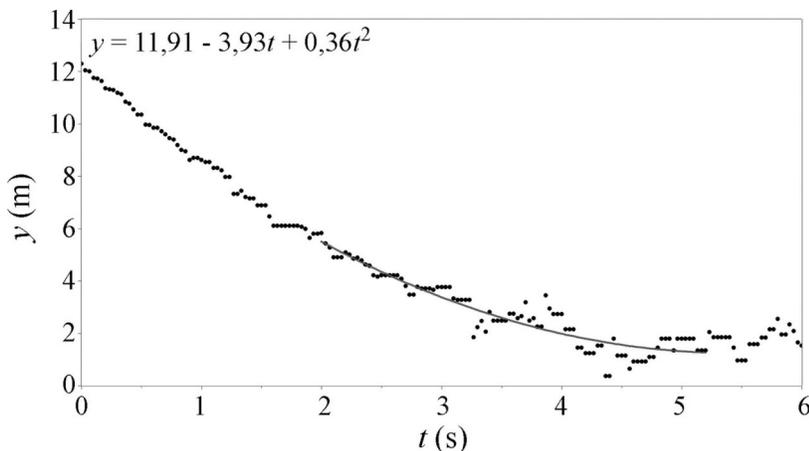


Figura 8 - Altitude como função do tempo.

ra o estágio final da descida esteja obstruído pela grande quantidade de sujeira erguida pelos foguetes do guindaste, a maior parte da descida pode ser monitorada, conforme mostramos na Fig. 7.

O que podemos avaliar nestes instantes finais? Na Fig. 8, vemos o gráfico da altitude como função do tempo nos instantes finais da descida. O guindaste desce o rover com velocidade aproximadamente constante nos 2,0 s iniciais, reduzindo a velocidade nos instantes posteriores para que o toque no solo seja suave. Um ajuste da curva entre os instantes 2,0 s e 5,2 s pode determinar a aceleração imposta pelo guindaste nos instantes finais, como mostra o gráfico da Fig. 8, resultando em uma aceleração $a = 0,18 \text{ m/s}^2$. No instante 5,2 s, o rover toca o solo.

3. Discussão

A astronomia e a astronáutica são reconhecidas como áreas do conhecimento que atraem e instigam os jovens. Considerando sua importância e o interesse de crianças e jovens por missões espaciais, é nosso dever pensar em possibilidades de trabalho em sala de aula que vá além dos conteúdos intrinsecamente ligados a estes temas. Missões espaciais já se aventuram com destino a Marte desde o início da década de 1960 e ainda vão continuar por muito tempo. Descartá-las da sala de aula é ignorar uma das interfaces mais populares da física com a sociedade. Para que possamos explorar algumas atividades ligadas à astronomia e à astronáutica, ao mesmo tempo em que trabalhamos conteúdos de cinemática, trouxemos aqui algumas possibilidades associadas ao uso do software Tracker.

Recebido em: 21 de Agosto de 2021

Aceito em: 17 de Fevereiro de 2022

Referências

- [1] <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/esa-exomars-2022-rover/>.
- [2] <https://www.isro.gov.in/pslv-c25-mars-orbiter-mission>.
- [3] P. Withers, American Journal of Physics **81**, 565 (2013).
- [4] C.M. Dutra, A.R. Goulart, Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia **18**, 11 (2014).
- [5] B.E. Morgado, V. Soares, Revista Brasileira de Ensino de Física **37**, 1305 (2015).

- [6] L.P.G. Menezes, V.M. Pereira, Revista do Instituto GeoGebra Internacional De São Paulo **10**, 168 (2021).
- [7] <https://mars.nasa.gov/mars2020/>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=4czjS9h4Fpg&t=2s> Acesso em 6 de setembro de 2021.
- [9] <https://mars.nasa.gov/mars2020/>
- [10] <https://physlets.org/tracker/>
- [11] A.C. Wrasse, L.P. Etcheverry, G.F. Marranghello, F.S. da Rocha, Revista Brasileira de Ensino de Física **36**, 1501 (2014).
- [12] M.A. Cavalcante, A.C. Teixeira, M. Balaton, Física na Escola **14**(1), 27 (2016).
- [13] https://www.youtube.com/watch?v=SHBu-5fZwRQ&ab_channel=LicenciaturaemF%C3%ADsicaIFB. Acesso em 6 de setembro de 2021.
- [14] M.R. Rossini, M.J. Alves, L.H. Amorin, P.S. Camargo Filho, Revista Brasileira de Ensino de Física **42**, e20200290 (2020).
- [15] R.S. Franco, V.S. Miranda, R.S. Dutra, L.C. Ribeiro, Revista Brasileira de Ensino de Física **43**, e20200528 (2021).
- [16] <https://trek.nasa.gov/mars/> Acesso em 6 de setembro de 2021.