

# 26<sup>a</sup> OBA – GABARITO DA PROVA DO NÍVEL 4

## 19/05/2023

(Atenção: aluno com nota final maior ou igual a 7,0 será convidado para participar das provas seletivas que formam as equipes internacionais, portanto, escreva de forma legível seu e-mail e fique atento a ele e às redes sociais da OBA.)

Veja o gabarito em nossa home page [www.obr.org.br](http://www.obr.org.br)

Nota de Astronomia: \_\_\_\_\_ Nota de Astronáutica: \_\_\_\_\_ Nota Final: \_\_\_\_\_  
Observação: A Nota Final é a soma das notas de Astronomia e de Astronáutica. Visto do(a) Prof(a): \_\_\_\_\_

### Dados do(a) aluno(a) (use somente letras de fórmula):

Nome completo: ..... Sexo: .....

Endereço: ..... N° .....

Bairro: ..... CEP: ..... - ..... Cidade: ..... Estado: .....

Tel. fixo: (\_\_\_\_) \_\_\_\_ - \_\_\_\_ Tel. celular: (\_\_\_\_) \_\_\_\_ - \_\_\_\_ Data de Nascimento \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

E-mail: [\_\_\_\_\_]

(Obrigatório usar letras de fórmula e preencher o e-mail se tiver. Se não tiver, deixe em branco.)

Ano que está cursando: ..... Quantas vezes participou da OBA? .....

Declaro que estou realizando esta prova em **19 de maio de 2023**.

*Prova fora desta data é ilegal e constitui-se em fraude punível na forma da Lei.*

Assinatura do aluno

### Dados da escola onde o(a) aluno(a) estuda:

Nome da escola: .....

Endereço: ..... N° .....

Bairro: ..... CEP: ..... - ..... Cidade: ..... Estado: .....

**OBSERVAÇÕES IMPORTANTES.** Esta prova só pode ser realizada no dia **19/05/2023**, pois em **outros dias** é ilegal. Ela pode ser feita no horário que a escola escolher e pode durar **até 3 horas**. Não é permitido nenhum tipo de consulta a colegas, professores, material impresso ou eletrônico. Também não pode usar nenhum tipo de calculadora.

**Boa Olimpíada!**

**Questão 1) (Até 1 ponto)** A imagem a seguir traz a foto do Monte Fuji, no Japão, no dia do Equinócio de Outono, visto do Monastério Keishin-in, uma escola budista. Neste dia o Sol nasce perfeitamente alinhado com o cume deste famoso vulcão, que ainda está ativo.

As coordenadas do Monte Fuji são: Latitude  $\phi = 35^\circ 21' 29''$  N e longitude  $\lambda = 138^\circ 43' 52''$  E.



Imagen: Monte Fuji, Japão. Foto de Edgar Segura (2014).

Sobre as informações dadas, PRIMEIRO coloque F ou V na frente de cada afirmação e DEPOIS escolha a linha que contém a sequência correta de F e V.

- 1<sup>a</sup>) ( V ) Uma semana depois do Equinócio de Outono, o Sol nascerá à direita do cume do Monte Fuji.
- 2<sup>a</sup>) ( F ) Uma semana depois do Equinócio de Outono, o Sol nascerá à esquerda do cume do Monte Fuji.
- 3<sup>a</sup>) ( F ) Este alinhamento ocorre quatro vezes por ano.
- 4<sup>a</sup>) ( V ) No Equinócio da Primavera, o Sol também nasce alinhado com o cume do Monte Fuji.
- 5<sup>a</sup>) ( V ) O cume do Monte Fuji e o monastério estão alinhados com a direção Leste-Oeste.

Assinale a alternativa que contém a sequência correta de F e V.

- a) ( X ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (F), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (V) 1,0 ponto
- b) ( ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (V) 0,6 ponto
- c) ( ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (F), 5<sup>a</sup> (V) 0,4 ponto
- c) ( ) 1<sup>a</sup> (F), 2<sup>a</sup> (V), 3<sup>a</sup> (F), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (F) 0,2 ponto
- c) ( ) 1<sup>a</sup> (F), 2<sup>a</sup> (V), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (F), 5<sup>a</sup> (F) 0,0 ponto

1) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

Resposta: Se é o dia do Equinócio de Outono, o Sol está nascendo no Ponto Cardeal Leste. Portanto, na imagem, o Norte está para a esquerda e o Sul está para a direita

A afirmação “Uma semana depois do Equinócio de Outono, o Sol nascerá à direita do cume do Monte Fuji.” é Verdadeira, pois depois do Equinócio de Outono o Sol se encaminha para o Solstício de Inverno e como o Monte Fuji está no Hemisfério Norte, a cada dia o Sol nascerá mais ao Sul (mais para a direita).

A afirmação “Uma semana depois do Equinócio de Outono, o Sol nascerá à esquerda do cume do Monte Fuji.” é Falsa, pelo motivo exposto acima.

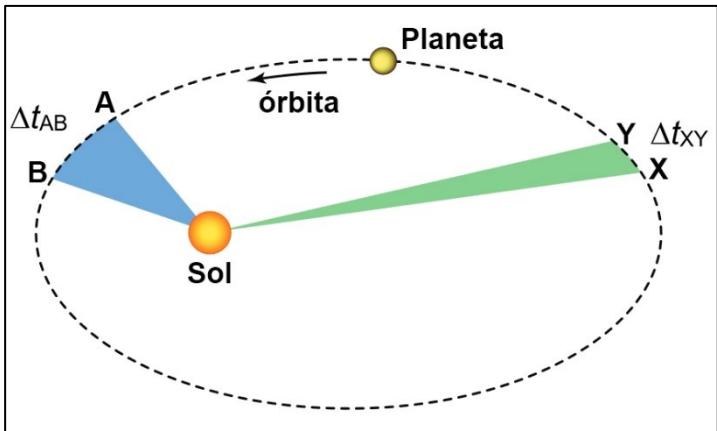
A afirmação “Este alinhamento ocorre quatro vezes por ano.” é Falsa, pois em 1 ano o Sol nascerá alinhado com o cume do Monte Fuji 2 vezes, no Equinócio de Outono e, novamente, no Equinócio da Primavera.

A afirmação “No Equinócio da Primavera, o Sol também nasce alinhado com o cume do Monte Fuji.” é Verdadeira pelo motivo exposto acima.

A afirmação “O cume do Monte Fuji e o monastério estão alinhados com a direção Leste-Oeste.” é Verdadeira, pois de outra maneira não se veria o Sol nascer alinhado ao cume nos dias dos Equinócios.

**Questão 2) (Até 1 ponto)** O desenho a seguir, fora de escala, ilustra a famosa Segunda Lei de Kepler, com o Sol ocupando um dos focos da elipse orbital, que neste caso está com a sua excentricidade exacerbada.

Sobre esta Lei e o desenho, PRIMEIRO coloque F ou V na frente de cada afirmação e DEPOIS escolha a linha que contém a sequência correta de F e V.



- 1<sup>a</sup>) ( **V** ) Se os intervalos de tempos entre AB e XY forem os mesmos ( $\Delta t_{AB} = \Delta t_{XY}$ ), então a área compreendida entre os pontos A-B-Sol é igual à área compreendida entre os pontos X-Y-Sol.
- 2<sup>a</sup>) ( **V** ) A velocidade orbital entre os pontos A e B é maior do que entre os pontos X e Y.
- 3<sup>a</sup>) ( **V** ) Os pontos A e B estão mais perto do periélio do planeta do que os pontos X e Y.
- 4<sup>a</sup>) ( **V** ) Entre os pontos X e Y o planeta está acelerado.
- 5<sup>a</sup>) ( **V** ) Entre os pontos A e B o planeta está acelerado.

Assinale a alternativa que contém a sequência correta de F e V.

- |  |           |
|--|-----------|
| a) ( <input type="checkbox"/> ) 1 <sup>a</sup> (V), 2 <sup>a</sup> (V), 3 <sup>a</sup> (V), 4 <sup>a</sup> (V), 5 <sup>a</sup> (F) | 0,6 ponto |
| b) ( <b>X</b> ) 1 <sup>a</sup> (V), 2 <sup>a</sup> (V), 3 <sup>a</sup> (V), 4 <sup>a</sup> (V), 5 <sup>a</sup> (V)                 | 1,0 ponto |
| c) ( <input type="checkbox"/> ) 1 <sup>a</sup> (V), 2 <sup>a</sup> (V), 3 <sup>a</sup> (V), 4 <sup>a</sup> (F), 5 <sup>a</sup> (F) | 0,4 ponto |
| d) ( <input type="checkbox"/> ) 1 <sup>a</sup> (F), 2 <sup>a</sup> (V), 3 <sup>a</sup> (F), 4 <sup>a</sup> (F), 5 <sup>a</sup> (V) | 0,2 ponto |
| e) ( <input type="checkbox"/> ) 1 <sup>a</sup> (F), 2 <sup>a</sup> (F), 3 <sup>a</sup> (F), 4 <sup>a</sup> (F), 5 <sup>a</sup> (F) | 0,0 ponto |

2) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

Resposta:

A afirmação “Se os intervalos de tempos entre AB e XY forem os mesmos ( $\Delta t_{AB} = \Delta t_{XY}$ ), então a área compreendida entre os pontos A-B-Sol é igual à área compreendida entre os pontos X-Y-Sol.” é Verdadeira, pois isto é exatamente o que diz a Segunda Lei de Kepler.

A afirmação “A velocidade orbital entre os pontos A e B é maior do que entre os pontos X e Y.” é Verdadeira, pois no mesmo intervalo de tempo, o planeta percorre uma distância maior ( $D_{AB} > D_{XY}$ ), portanto, no trecho AB sua velocidade é maior do que no trecho XY.

A afirmação “Os pontos A e B estão mais perto do periélio do planeta do que os pontos X e Y.” é Verdadeira, pois de A para B o planeta se aproxima do ponto mais próximo do Sol de sua órbita, que é o periélio.

A afirmação “Entre os pontos X e Y o planeta está acelerado” é Verdadeira, pois depois que o planeta passa pelo ponto mais afastado do Sol, o afélio, onde a velocidade orbital é mínima, o planeta passa a acelerar para atingir sua velocidade máxima no periélio.

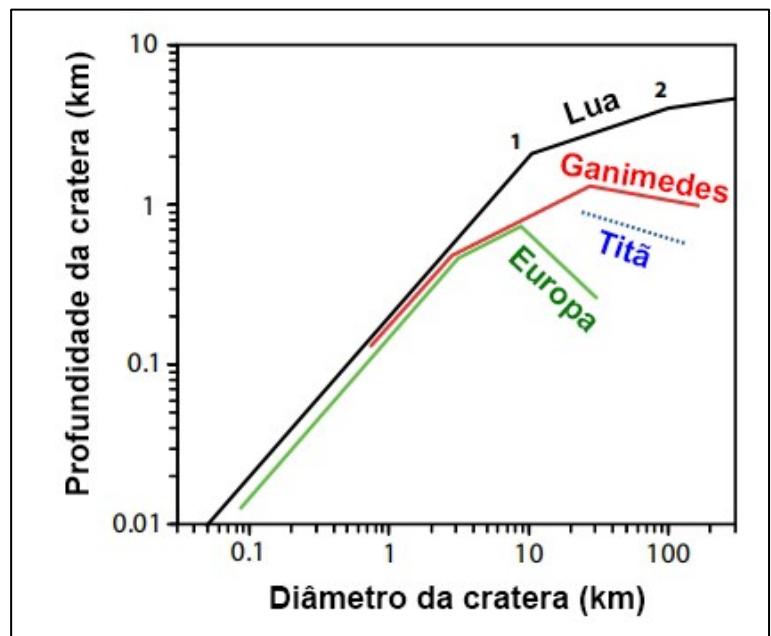
A afirmação “Entre os pontos A e B o planeta está acelerado.” é Verdadeira pelo motivo exposto acima.

**Questão 3) (1 ponto)** O gráfico traz a relação entre a profundidade e o diâmetro das crateras em quatro luas do Sistema Solar.

As “quebras” das linhas marcam a transição de crateras simples para complexas (primeira “quebra” em 1) e de crateras complexas para bacias com multianéis (segunda “quebra” em 2).

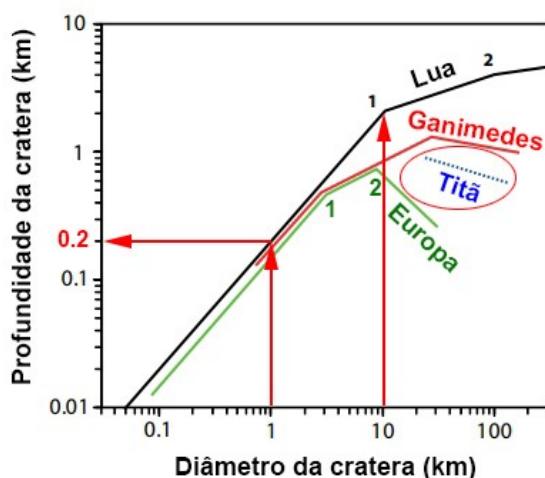
Baseado nas informações apresentadas no gráfico, assinale a afirmação correta.

- a) ( ) De maneira geral, crateras com 1 km de diâmetro também costumam ter 1 km de profundidade.
- b) ( ) Na lua Europa só encontramos crateras simples.
- c) (X) Na Lua, crateras com diâmetros de até 10 km são consideradas crateras simples.
- d) ( ) A profundidade das crateras da Lua é sempre menor do que as de Ganimedes.
- e) ( ) Em Titã encontramos todos os três tipos de crateras.



3) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

Resposta:



Pelo gráfico, vemos que:

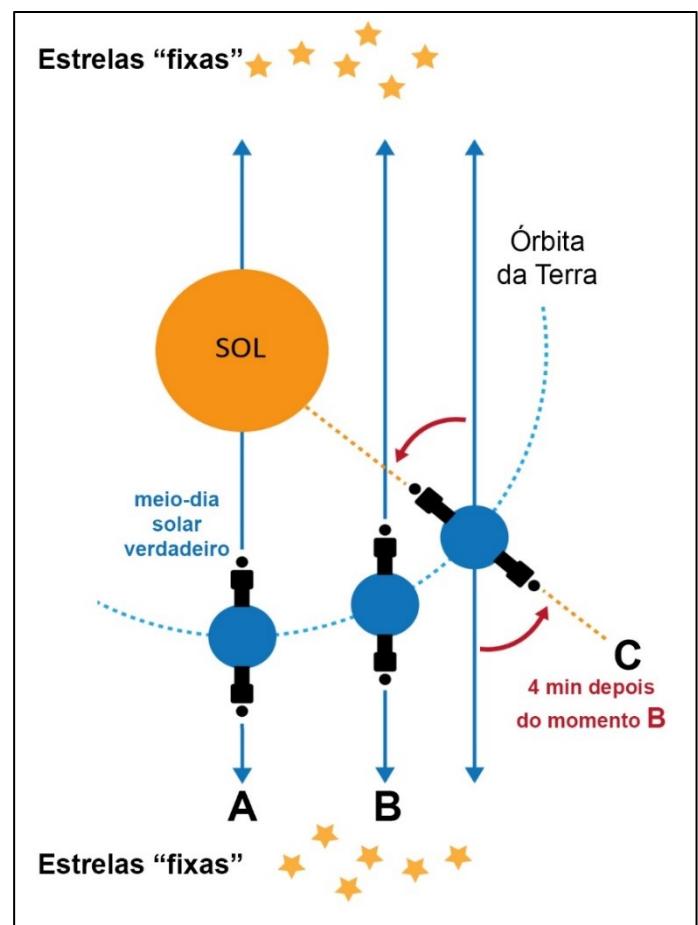
- Crateras com 1 km de diâmetro também costumam ter 0,2 km de profundidade;
- Na linha referente à lua Europa temos duas “quebras”, indicando três tipos de crateras: simples para complexas (primeira “quebra” em 1) e de crateras complexas para bacias com multianéis (segunda “quebra” em 2);
- Na Lua, crateras com diâmetros de até 10 km são consideradas crateras simples (opção correta);
- A profundidade das crateras da Lua é sempre MAIOR do que as de Ganimedes (a linha da Lua está acima da linha de Ganimedes) e
- Em Titã encontramos apenas 1 tipo de cratera (sua linha não apresenta “quebras”).

**Questão 4) (1 ponto)** Quando o Sol passa pelo ponto mais alto do céu, dizemos que está acontecendo o meio-dia solar verdadeiro. Quando, no dia seguinte, ele passa novamente por este ponto, dizemos que se passou 1 Dia Solar. Se usarmos as estrelas como referência, quando uma determinada estrela passa pelo mesmo lugar no dia seguinte, dizemos que se passou 1 Dia Sideral.

A imagem a seguir traz o esquema, fora de escala, da órbita da Terra em torno do Sol em três momentos distintos e consecutivos: **A**, **B** e **C**.

Sobre esta imagem e baseado nos seus conhecimentos, assinale a opção correta.

- a) ( ) Entre o momento A e o momento C se passou um Dia Sideral.
- b) ( ) Entre o momento A e o momento B se passou um Dia Sideral.
- c) ( ) Entre o momento A e o momento B se passou um Dia Solar.
- d) ( ) Entre o momento A e o momento B se passaram 24 horas.
- e) ( ) Entre o momento A e o momento C se passaram 24 horas e 4 min.



4) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

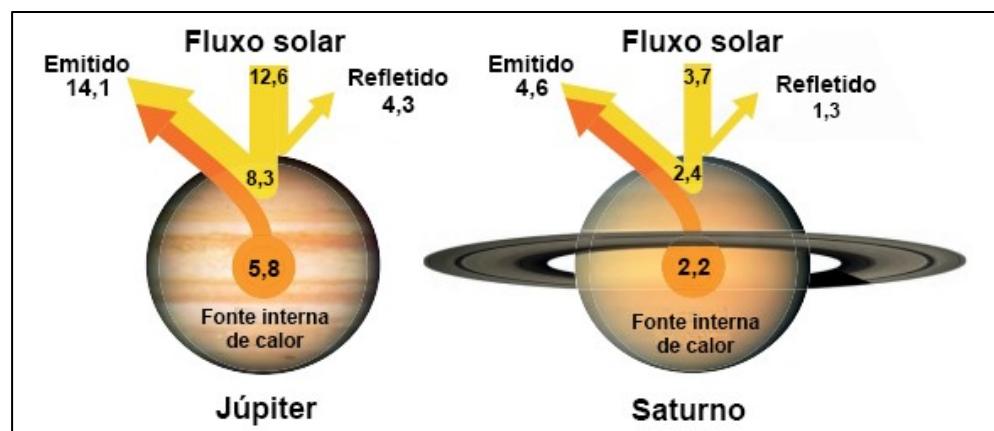
**Resposta:**

Pela figura vemos que 1 Dia Sideral se passou entre o momento A e B, pois as estrelas "fixas" voltaram a ficar na mesma posição no céu para o observador.

No momento A, para o observador voltado para o Sol, está acontecendo o meio-dia solar verdadeiro, pois o Sol está na sua posição mais alta e esta situação volta a se repetir no momento C. Como, por definição, 1 Dia solar tem 24 horas, este foi o tempo que se passou entre o momento A e C.

Vemos assim que o Dia Sideral é mais curto que o Dia Solar em cerca de 4 minutos. Portanto entre o momento A e B se passaram  $24\text{ h} - 4\text{ min} = 23\text{ h } 56\text{ min}$ .

**Questão 5) (Até 1 ponto)** A imagem a seguir traz o balanço médio de energia dos dois gigantes gasosos do Sistema Solar entre a luz solar incidente (fluxo solar), uma parte da qual é refletida e o restante é absorvida e subsequentemente reemitida no comprimento de onda do infravermelho térmico. Além disso, ambos os planetas



possuem fontes internas de energia que contribuem para aumentar suas emissões em infravermelho. Os valores apresentados estão em  $\text{W/m}^2$ , extraídos de várias fontes.

Baseado nas informações apresentadas, PRIMEIRO coloque F ou V na frente de cada afirmação e DEPOIS escolha a linha que contém a sequência correta de F e V.

- 1<sup>a</sup>) ( **F** ) Da luz solar que recebem, Júpiter absorve, percentualmente, um pouco menos do que Saturno.
- 2<sup>a</sup>) ( **F** ) A luz solar recebida por Saturno é, percentualmente, mais intensa do que a de Júpiter por conta dos seus anéis.
- 3<sup>a</sup>) ( **V** ) Ambos os planetas emitem mais energia do que recebem do Sol.
- 4<sup>a</sup>) ( **V** ) Da luz solar que recebem, Saturno reflete, percentualmente, um pouco mais do que Júpiter.
- 5<sup>a</sup>) ( **V** ) Júpiter possui uma fonte interna de calor mais intensa do que a de Saturno.

Assinale a alternativa que contém a sequência correta de F e V.

- a) (  ) 1<sup>a</sup> (F), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (F)      0,6 ponto
- b) (  ) 1<sup>a</sup> (F), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (F), 5<sup>a</sup> (F)      0,4 ponto
- c) (  ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (V), 3<sup>a</sup> (F), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (V)      0,2 ponto
- d) ( **X** ) 1<sup>a</sup> (F), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (V)      1,0 ponto
- e) (  ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (V), 3<sup>a</sup> (F), 4<sup>a</sup> (F), 5<sup>a</sup> (F)      0,0 ponto

**5) - Nota obtida:** \_\_\_\_\_

**Resposta:**

A afirmação “Da luz solar que recebem, Júpiter absorve, percentualmente, um pouco menos do que Saturno.” é Falsa, pois Júpiter absorve 8,3 de 12,6, portanto  $(8,3/12,6) \times 100\% \approx 65,9\%$ , enquanto Saturno absorve 2,4 de 3,7, portanto  $(2,4/3,7) \times 100\% \approx 64,9\%$ .

A afirmação “A luz solar recebida por Saturno é, percentualmente, mais intensa do que a de Júpiter por conta dos seus anéis.” é Falsa, pois Júpiter está mais próximo do Sol, portanto recebe luz do Sol com mais intensidade.

A afirmação “Ambos os planetas emitem mais energia do que recebem do Sol.” é verdadeira, pois ambos os planetas possuem fontes internas de calor que se somam à energia reemitida.

A afirmação “Da luz solar que recebem, Saturno reflete, percentualmente, um pouco mais do que Júpiter.” é Verdadeira, pois Saturno reflete 1,3 de 3,7, portanto  $(1,3/3,7) \times 100\% \approx 35,1\%$  e Júpiter reflete 4,3 de 12,6, portanto  $(4,3/12,6) \times 100\% \approx 34,1\%$ .

A afirmação “Júpiter possui uma fonte interna de calor mais intensa do que a de Saturno.” é Verdadeira, pois na figura vemos que fonte<sub>Jup</sub> = 5,8 > fonte<sub>Sat</sub> = 2,2.

**Questão 6) (Até 1 ponto)** Uma das maiores novidades do Telescópio Espacial James Webb (JWST) é sua capacidade de encontrar exoplanetas habitáveis. Isso porque ele leva um equipamento especial a bordo chamado NIRISS, capaz de ler a assinatura química de lugares distantes. Para estrear o equipamento, os operadores do James Webb apontaram o telescópio para o exoplaneta WASP-96 b. Ele é um entre os mais de 5 mil que conhecemos na Via Láctea, e está localizado a 1.150 anos-luz de nós.

Localizado na constelação da Fênix, esse é um tipo de gigante gasoso de raio 1,2 vezes o de Júpiter, mas com metade da sua massa. Além disso, é muito quente. Com temperatura média próxima dos 500 °C, ele está muito perto da sua estrela — chamada WASP-96. Sua órbita é tão pequena que um ano completo lá tem cerca de 3,5 dias terrestres.

A imagem traz o gráfico da curva de luz, o brilho da estrela WASP-96, quando da passagem do planeta WASP-96 b pelo seu disco, ou seja, durante um trânsito planetário.

Baseado nas informações apresentadas e no gráfico, PRIMEIRO coloque F ou V na frente de cada afirmação e DEPOIS escolha a linha que contém a sequência correta de F e V.

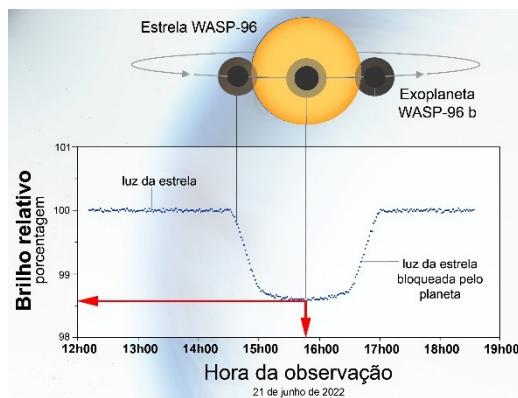
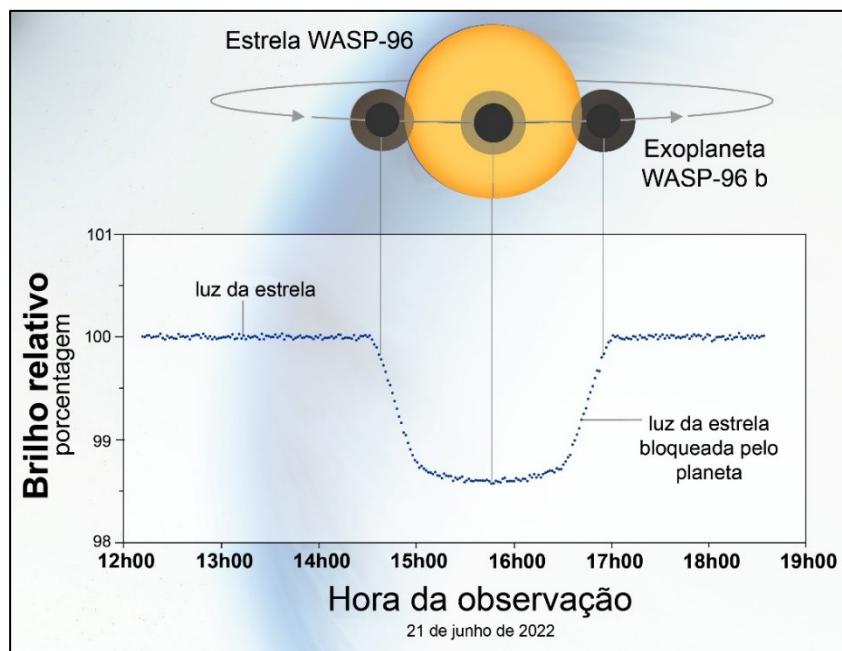
- 1<sup>a</sup>) ( **F** ) Durante seu trânsito, planeta WASP-96 b reduziu em 2% do brilho da sua estrela.
- 2<sup>a</sup>) ( **F** ) O máximo do trânsito ocorreu às 16h do dia 21 de junho de 2022.
- 3<sup>a</sup>) ( **F** ) Em 1 ano terrestre, o planeta WASP-96 b dá 100 voltas em torno de WASP-96.
- 4<sup>a</sup>) ( **F** ) Se um parsec tem 3,26 anos-luz, então a estrela WASP-96 está a 360 parsecs de nós.
- 5<sup>a</sup>) ( **V** ) O planeta WASP-96 b tem cerca de 30% da densidade de Júpiter.

Assinale a alternativa que contém a sequência correta de F e V.

- a) (  ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (F), 4<sup>a</sup> (F), 5<sup>a</sup> (V)      0,6 ponto
- b) (  ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (F), 5<sup>a</sup> (V)      0,4 ponto
- c) ( **X** ) 1<sup>a</sup> (F), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (F), 4<sup>a</sup> (F), 5<sup>a</sup> (V)      1,0 ponto
- d) (  ) 1<sup>a</sup> (F), 2<sup>a</sup> (F), 3<sup>a</sup> (F), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (F)      0,2 ponto
- e) (  ) 1<sup>a</sup> (V), 2<sup>a</sup> (V), 3<sup>a</sup> (V), 4<sup>a</sup> (V), 5<sup>a</sup> (F)      0,0 ponto

**6) - Nota obtida:** \_\_\_\_\_

**Resposta:**



A afirmação “Durante seu trânsito, planeta WASP-96 b reduziu em 2% do brilho da sua estrela.” é Falsa, pois vemos no gráfico que a redução do brilho foi inferior a 2%.

A afirmação “O máximo do trânsito ocorreu às 16h do dia 21 de junho de 2022.” é Falsa, pois vemos no gráfico que o máximo ocorreu pouco antes das 16h.

A afirmação “Em 1 ano terrestre, o planeta WASP-96 b dá 100 voltas em torno de WASP-96.” é Falsa, pois nos é informado que 1 ano deste exoplaneta dura apenas 3,5 dias terrestres, portanto em 365 dias o exoplanta deu  $365/3,5 \cong 104$  voltas.

A afirmação “Se um parsec tem 3,26 anos-luz, então a estrela WASP-96 está a 360 parsecs de nós.” é Falsa, pois  $(1.150 \text{ anos-luz})/(3,26 \text{ anos-luz/parsec}) \cong 353 \text{ parsecs}$ .

A afirmação “O planeta WASP-96 b tem cerca de 30% da densidade de Júpiter.” é Verdadeira, pois

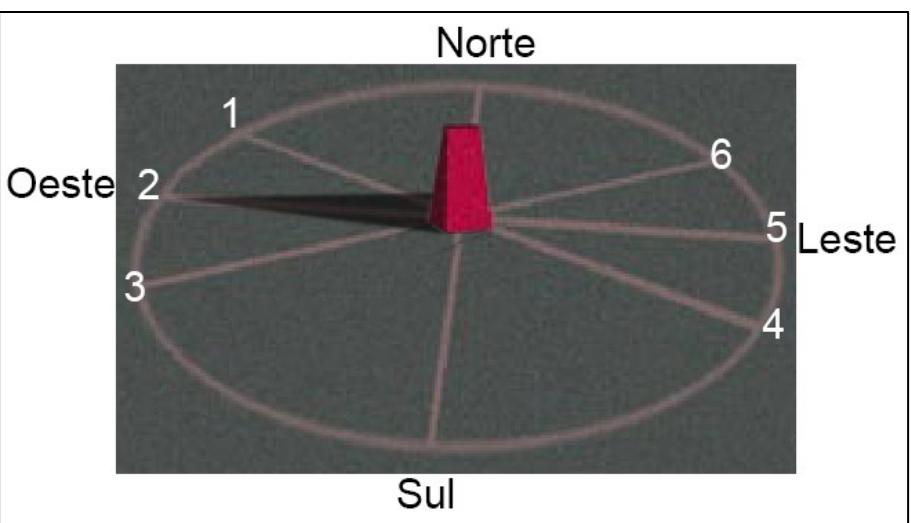
$$\text{densidade} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Portanto

$$d_{WASP-96\ b} = \frac{0,5\ m_{Jup}}{\frac{4}{3}\pi(1,2\ r_{Jup})^3} = \frac{0,5}{(1,2)^3} \left[ \frac{m_{Jup}}{\frac{4}{3}\pi(r_{Jup})^3} \right] \cong 0,29\ d_{Jup} \approx 30\% \ d_{Jup}$$

**Questão 7) (1 ponto)** O desenho representa o esquema de um calendário solar indígena do Hemisfério Sul da Terra, onde a sombra do obelisco marca o início de cada estação do ano, indicado pelas linhas no chão, numeradas de 1 a 6.

Baseado no desenho e em seus conhecimentos, assinale a opção correta.



- a) ( ) A linha 2 indica o pôr do Sol no início da Primavera.
- b) ( ) A linha 4 indica o pôr do Sol no início do Verão.
- c) ( ) A linha 1 indica o nascer do Sol no início do Verão.
- d) ( ) A linha 5 indica o nascer do Sol no início do Outono.
- e) ( ) A linha 6 indica o pôr do Sol no início do Inverno.

7) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

Resposta:

Pelo esquema apresentado, vemos que, quando a sombra do obelisco está sobre a:

- linha 2, isso significa que o Sol está nascendo no Ponto Cardeal Leste e, portanto, no início da Primavera ou do Outono;
- linha 4, isso significa que o Sol está se pondo mais ao norte possível do Ponto Cardeal Oeste e, portanto, indicando o início do Inverno;
- linha 1, isso significa que o Sol está nascendo mais ao sul possível do Ponto Cardeal Leste e, portanto, no início do Verão (opção correta);
- linha 5, isso significa que o Sol está se pondo no Ponto Cardeal Leste e, portanto, no início da Primavera ou do Outono;
- linha 6, isso significa que o Sol está se pondo mais ao sul possível do Ponto Cardeal Oeste e, portanto, indicando o início do Verão;

## AQUI COMEÇAM AS QUESTÕES DE ASTRONÁUTICA

**Questão 8) (1 ponto)** Ao final de 2012, havia 1.191 satélites operando em órbita terrestre. Dez anos depois temos 6.905 satélites. Somente nesta década, há a expectativa de que mais 14.000 satélites sejam lançados ao espaço. Como você já sabe, são os foguetes que levam os satélites ao espaço. Eles podem fazê-lo tanto individualmente, ou seja, levando um satélite de cada vez, ou em conjunto, como foi o caso de um foguete Falcon 9, que levou 143 ao espaço em um único voo. A tabela apresenta foguetes oriundos dos EUA, Europa, China, Índia e Rússia.

A tabela também mostra a capacidade máxima de carga que cada foguete consegue levar para colocar um objeto em uma órbita de 1.000 km acima da superfície terrestre.

Foguete (País)	Capacidade de carga [kg]	Preço do foguete [Dólares]	Custo específico [Dólares / kg]
Falcon 9 (EUA)	17.500	70.000.000	
Ariane 5 (Europa)	15.000	180.000.000	12.000
Kuaizhou-1A (China)	300	6.000.000	
Electron (EUA)	300	7.500.000	25.000
PSLV (Índia)	3.000	30.000.000	10.000
Proton (Rússia)	25.000	175.000.000	

**Item a)** Baseado nos dados da tabela, qual dos foguetes apresenta o menor custo específico? O custo específico é obtido quando se divide o preço do foguete pela sua capacidade de carga. Para responder a esta questão você precisará completar a Tabela.

**Item b)** Suponha que você tenha dois satélites de 7.500 kg para colocar em órbita. Qual dos foguetes você usaria, considerando o menor preço do foguete. Considere que o foguete levará somente os seus satélites.

**Item c)** Os satélites atuais têm massas variando de 0,25 kg a 5.000 kg, aproximadamente. Considere que você deseja lançar 60 satélites de 1,5 kg cada um. Qual dos foguetes você usaria, considerando o menor custo de lançamento e o fato de que seus satélites possuem componentes norte-americanos e, por isso, não podem voar em foguetes chineses. Considere que o foguete levará somente os seus satélites.

Assinale a alternativa que contém as respostas corretas aos itens “a”, “b” e “c”, acima, e na sequência correta.

- a) (  ) Falcon 9, Falcon 9 e Electron
- b) (  ) Falcon 9, Proton e Electron
- c) (  ) Falcon 9, Falcon 9 e Kuaizhou-1A
- d) (  ) Ariane 5, PSLV e Kuaizhou-1A
- e) (  ) Ariane 5, PSLV e Falcon 9

8) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

Resposta:

a) Fazendo as contas que faltam na tabela, temos:

$$\text{Falcon 9: } 70.000.000 / 17.500 = \text{US\$ } 4.000/\text{kg}$$

$$\text{Kuaizhou-1A: } 6.000.000 / 300 = \text{US\$ } 20.000/\text{kg}$$

$$\text{Proton: } 175.000.000 / 25.000 = \text{US\$ } 7.000/\text{kg}$$

Conclui-se que o **Falcon 9** é o foguete com o menor custo específico: US\$ 4.000,00/kg.

b) Dois satélites de 7.500 kg cada, dariam uma massa total de 15.000 kg.

De acordo com os dados da segunda coluna da Tabela, 3 foguetes podem atender: Falcon 9, Ariane 5 e Proton.

Contudo, o **Falcon 9** é aquele que apresenta o menor preço do foguete: US\$ 70.000.000,00

c) 60 satélites com massa de 1,5kg cada, perfaz uma massa total de 90 kg.

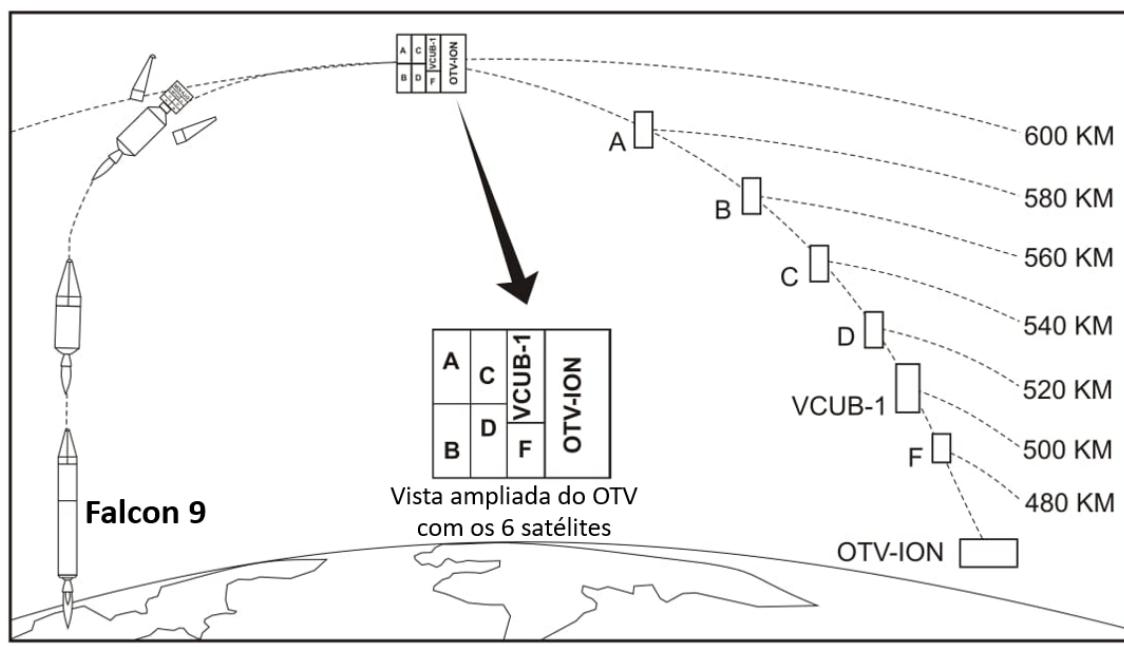
Todos os foguetes mostrados na Tabela possuem capacidade para lançar esses satélites.

O chinês Kuaizhou-1A é o mais barato, US\$ 6.000.000,00, mas como estes satélites não podem ser lançados por um foguete chinês, a opção mais barata é do foguete **Electron**: US\$ 7.500.000,00.

**Questão 9) (1 ponto)** O VCUB-1, da empresa Visiona, é o primeiro satélite brasileiro a fazer uso de uma nova tecnologia espacial que são os Veículos de Transferência Orbital (OTV – *Orbital Transfer Vehicles*). De modo simplificado, um OTV pode ser entendido como um satélite que, colocado em órbita terrestre por meio de um foguete, é capaz de inserir vários pequenos satélites em diferentes órbitas, por meio de manobras orbitais.

Em decorrência da diminuição do tamanho dos satélites, por conta da miniaturização da eletrônica, um foguete, como o Falcon 9 (SpaceX), é capaz de levar em um único voo dezenas de satélites. Como cada satélite tem suas especificidades em relação à altitude e plano orbital, faz-se uso de um OTV para efetuar os ajustes orbitais de cada um dos pequenos satélites que ele transporta. Para tanto, o OTV possui seu próprio sistema propulsivo.

O VCUB-1, com 12 kg de massa, foi ao espaço em abril de 2023. O foguete Falcon 9 colocou o OTV-ION em uma órbita inicial de 600 km de altitude (ver figura). A partir dessa altitude, o OTV ION inseriu os satélites A, B, C, D, VCUB1 e F em suas órbitas finais de 580, 560, 540, 520 km, 500 km e 480 km, respectivamente. Para que possa realizar suas manobras orbitais, o OTV-ION possui um sistema propulsivo próprio com 2,6 kg de propelente. Depois de colocar o último satélite em órbita o OTV-ION reentrou na atmosfera terrestre, onde foi destruído pelo intenso calor gerado pela reentrada.



**Item a)** Para cada redução de 20 km na sua altitude, o OTV-ION necessita de 1 dia. Considerando-se que a ejeção dos satélites é instantânea, quantos dias foram necessários, no mínimo, para colocação do VCUB-1 em sua órbita de 500 km?

**Item b)** Para correção de 10 km na altitude o sistema propulsivo do OTV-ION consome 200 g de propelente. Quanto de massa de propelente será consumida pelo OTV-ION para colocar o VCUB-1 em sua órbita final, após lançar o satélite D?

Assinale a alternativa que contém as respostas corretas aos itens “a” e “b”, acima, e na sequência correta.

- a) ( ) 4 dias e 0,4 kg
- b) ( ) 5 dias e 0,8 kg
- c) ( ) 4 dias e 0,2 kg
- d) (X) 5 dias e 0,4 kg
- e) ( ) 5 dias e 0,2 kg

9) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

Resposta:

a) O VCUB-1 precisa ser posicionado em sua órbita de 500 km vindo de uma altitude de 600 km:

600 km → 580 km: 1 dia

580 km → 560 km: 1 dia

560 km → 540 km: 1 dia

540 km → 520 km: 1 dia

520 km → 500 km: 1 dia

TOTAL: 5 dias

b) O satélite D será colocado a 520 km de altitude, portanto, para colocar o VCUB-1 na sua órbita final a 500 km de altitude podemos usar uma regra de três simples para encontrar a massa de propelente que será consumida:

$$\frac{200 \text{ g de propelente}}{10 \text{ km}} = \frac{X \text{ g de propelente}}{(520 - 500) \text{ km}} \rightarrow X = \frac{200 \text{ g} \times 20 \text{ km}}{10 \text{ km}} = 400 \text{ g} = 0,4 \text{ kg}$$

**Questão 10) (1 ponto)** A exploração de Marte é uma das áreas mais ativas da pesquisa espacial, com cerca de 50 missões já realizadas e/ou planejadas não tripuladas ao planeta vermelho e até há planos para levar humanos para lá em um futuro próximo. Neste momento, há dois jipes-robôs deslocando-se na superfície marciana (*Curiosity* e *Perseverance*), um pequeno helicóptero (*Ingenuity*) e sete satélites orbitando o planeta vermelho. Chegar a Marte é um desafio extraordinário, razão pela qual metade das missões para lá enviadas falharam. Imagine você arremessar uma espaçonave do tamanho de um carro em direção a um ponto

do espaço onde Marte estará daqui a alguns meses. Para tanto, são utilizados foguetes que possuem 60 m de altura e 531.000 kg de massa. Isso mesmo, para arremessar uma espaçonave de 1.000 kg em direção a Marte, são necessários 480.000 kg de propelente (combustível + oxidante), que são consumidos em apenas 20 minutos. Durante quase toda a trajetória rumo a Marte, o gigantesco foguete já não mais existe. Pequenos motores-foguetes da espaçonave são utilizados apenas para correções de trajetória e para amarrissagem (pouso em Marte). Durante essa fase de voo não propulsado, a espaçonave fica sob influência quase exclusiva do campo gravitacional do Sol.

Muito antes que os grandes foguetes pudessem ser desenvolvidos, o cientista alemão Walter Hohmann propôs, em 1925, uma trajetória de transferência orbital que envolvia o menor consumo de propelente, desde então conhecida como órbita de transferência de Hohmann. Nessa trajetória (ver figura) o periélio da órbita de transferência encontra-se na órbita da Terra que corresponde ao ponto A, enquanto o afélio se encontra na órbita de Marte no ponto B. Para as questões abaixo, considere que as órbitas da Terra e de Marte são circulares e coplanares.

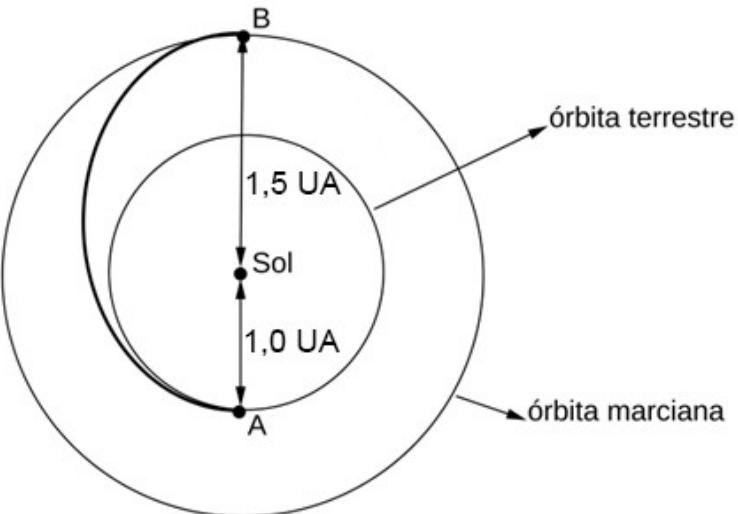
**Item a)** Sabendo que o semieixo maior de uma órbita elíptica ao redor do Sol corresponde à metade da distância entre o periélio e o afélio, calcule o valor do semieixo maior da órbita de transferência. Considere que a distância da Terra ao Sol seja de 1,0 UA e que a distância entre Marte e Sol seja de 1,5 UA. Apresente o resultado em unidades astronômicas (UA).

**Item b)** Em 1619, o alemão Johannes Kepler propôs a Terceira Lei de Kepler que diz que o quadrado do período de uma órbita dividido pelo cubo do semieixo maior dessa órbita é constante para todos os corpos que orbitam um mesmo corpo central. Por exemplo, sendo T o período e S o semieixo maior da órbita de transferência, tem-se que:  $\frac{T^2}{S^3} = \frac{T_T^2}{R_T^3}$ , onde  $T_T$  é o período da órbita da Terra, ou seja, 12

meses e  $R_T$  é a distância da Terra ao Sol, ou seja, 1,0 UA. Sendo assim, calcule o tempo para uma espaçonave viajar do ponto A ao B na órbita de transferência em meses. Lembre-se de que apenas metade da elipse é percorrida e que por isso, esse tempo corresponde à metade do período da órbita de transferência. Considere  $\sqrt{1,50} = 1,22$  e  $\sqrt{1,25} = 1,12$ .

Assinale a alternativa que contém as respostas corretas aos itens “a” e “b”, acima, e na sequência correta.

- a) ( ) 1,50 UA e 11,0 meses
- b) ( ) 1,25 UA e 16,8 meses
- c) ( ) 1,22 UA e 22,0 meses
- d) ( ) 1,22 UA e 8,4 meses
- e) (X) 1,25 UA e 8,4 meses



10) - Nota obtida: \_\_\_\_\_

Resposta:

a)  $S = (1,0 \text{ UA} + 1,5 \text{ UA})/2 \rightarrow S = 1,25 \text{ UA}$

b) Tem-se:

$$\frac{T^2}{S^3} = \frac{T_T^2}{R_T^3}$$

$$\frac{T^2}{1,25^3} = \frac{12^2}{1^3}$$

$$T = \sqrt{12^2 \times 1,25^3}$$

$$T = \sqrt{12^2 \times 1,25^2 \times 1,25}$$

$$T = 12 \times 1,25 \times \sqrt{1,25}$$

$$T = 12 \times 1,25 \times 1,12$$

$$T = 15 \times 1,12$$

$$T = 16,8 \text{ meses}$$

Como se trata de metade do período da órbita, tem-se:

$$T/2 = 8,4 \text{ meses}$$