

Sistema Solar II

Prof. Thiago Paulin Caraviello

Corpos Menores

O Sistema Solar contém, além dos planetas e dos planetas anões, um grande número de corpos menores, entre os quais estão inclusos os satélites naturais, asteroides, cometas e meteoroides. Estes corpos têm enorme importância no estudo da formação do Sistema Solar, pois muitos se formaram muito longe do Sol e ao longo do tempo agregaram aos seus corpos compostos referentes à época da formação deste sistema. Portanto, os corpos menores são relíquias que ainda mantêm intacto o registro das condições físicas e químicas primitivas do Sistema Solar.

Satélites

Os satélites naturais são corpos celestes que possuem órbita atrelada a um planeta. Ou seja, enquanto os planetas orbitam em torno de uma estrela, os satélites naturais fazem o mesmo movimento só que em torno de um planeta. Eles não possuem luz própria e são informalmente chamados de luas (com a inicial de minúscula).

Em geral, o número de satélites de um planeta está associado à sua massa. O maior satélite do Sistema Solar é *Ganimesdes*, um dos quatro satélites galileanos de Júpiter. O segundo é *Titã*, de Saturno. Ambos são maiores do que o planeta Mercúrio, que tem diâmetro de 4880 km. Note que a Lua, satélite natural da Terra (com a inicial maiúscula), é maior do que Plutão, que tem 2350 km de diâmetro.

Os três maiores satélites têm a mesma densidade e, aproximadamente, o mesmo tamanho. Titã apresenta a notável característica de possuir uma atmosfera densa, rica em compostos de carbono e metano. Titã, como Vênus, é cercado por uma camada opaca de nuvens.

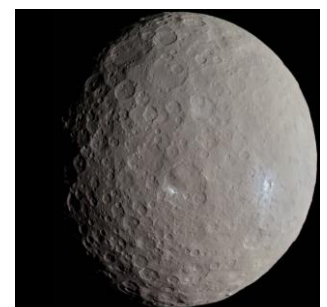
OS MAIORES SATÉLITES DO SISTEMA SOLAR

Nome	Diâmetro (km)	Massa (Lua = 1)	Densidade (g/cm ³)
Ganimesdes	5 280	2,0	1,9
Titã	5 150	1,9	1,9
Calisto	4 820	1,5	1,9
Io	3 640	1,2	3,5
Lua	3 475	1,0	3,3
Europa	3 130	0,7	3,0

Asteroides

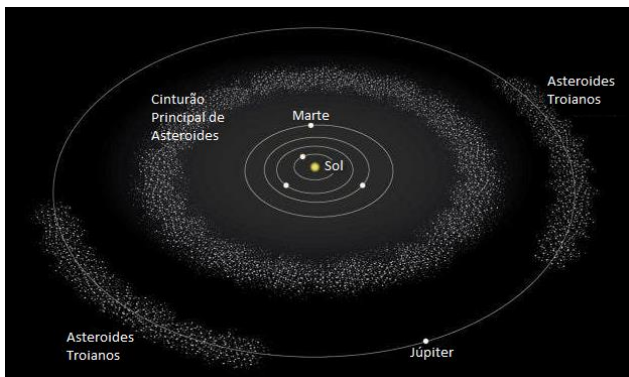
Asteroides são pequenos corpos, menores do que a Lua, com órbitas situadas na grande maioria no *Cinturão Principal de Asteroides*, entre as órbitas de Marte e Júpiter, a uma distância média do Sol da ordem de três vezes a distância Terra Sol. Este cinturão não é totalmente preenchido, mas apresenta lacunas chamadas falhas de *Kirkwood*. A maior parte dos asteroides da parte interna do cinturão são ferrosos, os da periferia ricos em carbono e os das regiões intermediárias apresentam-se rochosos.

Sondas espaciais constatam que o cinturão é surpreendentemente limpo de poeira fina. Existem mais de 12 000 asteroides com órbitas bem determinadas. Eles giram ao redor do Sol aproximadamente na mesma direção dos planetas, e, a maioria, no mesmo plano.



Ceres

O maior e o primeiro asteroide conhecido é *Ceres* (atualmente classificado como planeta anão), descoberto em 1801 pelo italiano *Giuseppe Piazzi*, com massa de um centésimo da massa da Lua, e diâmetro de 1000 km. Nessa época os astrônomos estavam procurando insistentemente um planeta que deveria existir entre as órbitas de Marte e Júpiter. Piazzi achou que tinha encontrado tal planeta, mas, em seguida, as descobertas de novos "pequenos planetas" nessa região se multiplicaram, e todos foram agrupados sob o nome de "asteroides". *Pallas* foi descoberto em 1802, por *Heinrich Olbers*, e *Juno* em 1804, por *Karl Harding*. O asteroide *Ida*, com 50 km de diâmetro, foi fotografado em 1993 pela sonda *Galileo* e foi então descoberto que ele possui um satélite, *Dactyl*, de 1,5 km de diâmetro, a 100 km de distância. Aproximadamente 10% dos asteroides têm satélites.



Cinturão Principal de Asteroides



Asteróide Ida e seu satélite Dactyl

Na mesma órbita de Júpiter, em pontos chamados lagrangeanos, orbitam os *Asteroides Troianos* que formam um subgrupo 60° à frente e outro 60° atrás deste planeta.

A partir de 1992, foram descobertos vários asteroides além da órbita de Netuno, chamados objetos transnetunianos. A maioria desses objetos tem órbitas no mesmo plano dos planetas, formando um anel em torno do Sol, a uma distância média 65 vezes maior que a distância Terra-Sol, chamado *Cinturão de Kuiper*.

Cometas

Um exame rápido na anatomia dos cometas identificamos três regiões principais: o núcleo, a coma (cabeleira) e a cauda.

Quando se encontra nas regiões distantes do Sol, um cometa é formado somente pelo núcleo a partir do qual se origina todo o material exibido pelo cometa, como gás e poeira. O núcleo possui raio da ordem de poucas centenas de metros até algumas dezenas de quilômetros, com uma massa em torno de 10^{11} até 10^{16} quilogramas.

Quando o núcleo chega mais próximo do Sol, o aumento de temperatura provoca a sublimação do gelo da sua superfície, isto é, a mudança do estado sólido para o vapor. Isto ocorre para o gelo, a baixa pressão, a uma temperatura de -60°C a uma distância do Sol próxima ao Cinturão Principal de Asteroides.

Este fenômeno produz o aparecimento de uma nuvem esférica de gás, em torno do núcleo, conhecida como coma, contendo vapor e poeira, cuja espessura aumenta com a aproximação do Sol.

Ao se aproximar mais ainda do Sol, os gases liberados do núcleo ficam sujeitos à ação do vento solar, um jato de partículas subatômicas emitida constantemente pelo Sol em todas as direções, dando então origem a uma das caudas. Normalmente podem ser observadas duas caudas, uma cauda de gás e uma cauda de poeira. A cauda de poeira é mais larga, curva e amarela porque brilha devido à reflexão da luz solar na poeira.



Cometa Hale-Bopp

A cauda de gás é reta (oposta ao Sol) e azul, pois brilha devido à emissão do monóxido de carbono ionizado.

Quanto a sua constituição química, o autor do modelo atualmente aceito, *Fred Whipple*, denomina o núcleo como *dirty snowball*, que podemos traduzir como *bola de gelo sujo*. Isto porque é constituído por gases congelados como: gás carbônico, amônia, metano e água, formando a parte do modelo chamada gelo. A mistura do gelo com partículas rochosas e metálicas forma a parte do modelo referida como sujo.

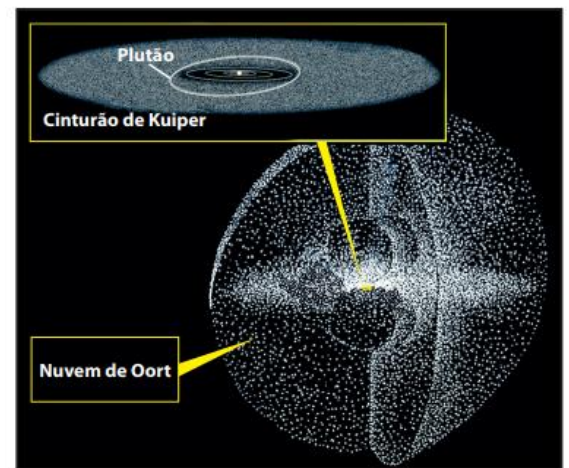
Os cometas são classificados em:

- *Periódicos*: cometas que possuem órbitas elípticas bem alongada e geralmente voltam à vizinhança solar em períodos inferiores a 200 anos;
- *Não periódicos*: cometas que foram vistos apenas uma vez e geralmente possuem órbitas parabólicas ou hiperbólicas retornando à vizinhança solar em períodos de milhares de anos, caso retornem.
- *Extintos*: cometas que já desapareceram por terem impactado com outro astro ou se desintegrado em suas passagens muito próximas e frequentes ao Sol.

Acredita-se que os cometas de período curto tenham sua origem no *Cinturão de Kuiper* ou próximo a ele. Já os cometas de longo período, se originam numa região bem além da órbita de Plutão, que envolve todo o Sistema Solar como se fosse uma casca, chamada *Nuvem de Oort*. Nessa região, que se estima tenha raio de cerca de 10^4 vezes à distância Terra-Sol, acumularam-se resíduos da formação do Sistema Solar. Acredita-se que aí existam 100 bilhões de núcleos de cometas.

Eventualmente, alguns desses núcleos têm sua trajetória perturbada gravitacionalmente por algum objeto (uma estrela ou um grande planeta, como Júpiter) e entram numa órbita bem alongada, tornando-se um novo cometa.

Os cometas são distintos dos asteroides pela presença do coma e da cauda. Existem cometas muito antigos que perderam todo material volátil, eles podem se assemelhar à asteroides. Acredita-se que asteroides tenham uma origem diferente dos cometas, tendo se formado no Sistema Solar interior, entre o Sol e Marte, em vez do Sistema Solar exterior, além de Júpiter.



A Nuvem de Oort é uma grande região rica em núcleos de cometas nos limites do Sistema Solar.

Meteoroides

Pelo espaço vagam objetos ainda menores que os asteroides, que podem colidir entre si, com os planetas e os satélites. Individualmente eles não podem ser vistos através de telescópios. São os meteoroides. Eles consistem em restos de cometas ou fragmentos de asteroides. Meteoroides maiores, medindo alguns metros e pesando milhares de toneladas, são mais raros. Quanto à composição química, podem ser rochosos, ferrosos ou uma mistura de ambos.

Meteoros

Meteoros são pequenos meteoroides que se chocam com a nossa atmosfera em alta velocidade, entre 40 mil e 200 mil km/h. Ao penetrar na atmosfera geram muito calor por atrito, deixando um rastro brilhante facilmente visível a olho nu, popularmente conhecidos como estrelas cadentes. O termo vem do grego *meteoron*, que significa “fenômeno no céu”.

O tamanho típico do fragmento é o de um grão de areia. Cada dia caem na Terra cerca de 100 toneladas deles.

Nem todos os fragmentos cósmicos são pequenos e inofensivos. Alguns podem ser bem grandes, mas, felizmente constituem uma minoria. Quando caem produzem fenômenos luminosos mais espetaculares. Às vezes o fenômeno é acompanhado de explosão no ar ou no solo, então, é chamado bólido.

Uma chuva de meteoros ocorre quando a Terra cruza a órbita de um cometa, e encontra a poeira deixada por ele.

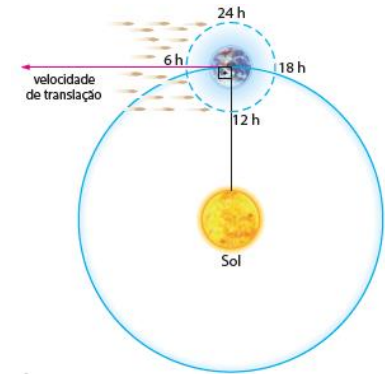
Considerando o movimento orbital da Terra em relação ao Sol, uma incidência maior de meteoros é esperada na direção para qual a Terra se move. Devido ao movimento de rotação da Terra, essa direção nasce a leste à meia-noite local e atinge sua altura máxima ao amanhecer.

O radiante de uma chuva de meteoros é um ponto no céu de onde os meteoros parecem originar. O radiante costuma receber o nome associado à constelação em que ocorre. Por exemplo, *Perseidas* (Perseu), *Oriônidas* (Órion), *Táuridas* (Touro), *Leônidas* (Leão), etc.

Abaixo incluímos uma lista das chuvas de meteoros mais importantes visíveis do nosso hemisfério.

Chuva de meteoros	Período	Atividade máxima
Liridas*	16 a 25 de abril	21 de abril
η Aquáridas* (Halley)	19 de abril a 28 de maio	05 de maio
δ Aquáridas Austral	12 de julho a 19 de agosto	27 de julho
Oriônidas (Halley)	02 de outubro a 07 de novembro	21 de outubro
Leônidas* (Temple-Tuttle)	14 a 21 de novembro	17 de novembro
Púpidas-Vélicas	01 a 15 de dezembro	07 de dezembro
Geminidas	07 a 17 de dezembro	13 de dezembro

* Chuvas visíveis depois da meia-noite.



Esquema de colisão de fragmentos cósmicos com a atmosfera terrestre.

Observações:

- As datas podem variar lentamente com os anos.
- O cometa associado está indicado entre parênteses.
- Uma lista completa das chuvas pode ser encontrada em: <www.imo.net/calendar>.

Meteoritos

Meteoritos são meteoroides que atravessam a atmosfera da Terra sem serem completamente vaporizados, atingindo o solo.

Cada dia, centenas de toneladas de meteoroides bombardeiam a alta atmosfera. Um meteoróide consegue atravessar a atmosfera e cair no chão se sua massa for maior que a massa da coluna de ar deslocada durante a queda, neste caso ele passa a ser chamado *meteorito*. Isso acontece para meteoroides com mais de 100 toneladas e no mínimo 1 metro de diâmetro.

Existem 3 tipos principais de meteoritos: os metálicos (*sideritos*), os rochosos (*aerólitos*), e os metálico-rochosos (*siderólitos*). Os rochosos são os mais abundantes, porém os mais difíceis de serem reconhecidos. Os meteoritos rochosos são divididos em *condritos* e *acondritos*. A principal característica dos condritos é a existência de grãos (côndrulos) em sua estrutura. Estes grãos são partículas, na maioria vidro, muito pequenas espalhadas pela matéria rochosa mais ou menos esféricas formadas pelo esfriamento rápido de materiais fundidos. Os acondritos são compostos de basalto vulcânico sem, ou poucos, côndrulos. Os metálicos são compostos principalmente de ferro e níquel.

Existem milhares de meteoritos guardados em coleções: aproximadamente um terço são meteoritos de queda, isto é, foram vistos caindo do céu; outros foram achados, ou seja, foram encontrados no chão e reconhecidos. A Antártica é um local propício para recolher meteoritos caídos. Para se ter uma ideia, na Terra caem aproximadamente 25 milhões de meteoritos por dia, a grande maioria com alguns microgramas.

Crateras de Colisões

O impacto de objetos cósmicos no solo é sempre impressionante. A energia envolvida é proporcional à massa do objeto que cai e o quadrado da velocidade de impacto. Essa velocidade é tão grande que uma gigantesca quantidade de energia, muito mais concentrada do que numa massa equivalente de explosivo químico, é forçada a se dissipar subitamente. Tudo se passa como se um projétil fosse lançado num líquido.

Marcas de colisão com objetos cósmicos estão presentes na superfície da Lua, da Terra e demais planetas, satélites e asteroides. A contagem das crateras na Lua revelou uma fase de intenso bombardeamento que só terminou há 3,9 bilhões de anos. Depois disso as colisões continuaram ocorrendo até hoje, mas com frequência bem menor. É que o espaço interplanetário abrigava muitos corpos de diversos tamanhos descrevendo as mais variadas órbitas. Esses corpos eram fragmentos residuais do recém-formado Sistema Solar. Uns colidiram com planetas e satélites, formaram crateras e foram destruídos. Outros tiveram suas órbitas desviadas e acabaram expulsos do Sistema Solar.

A análise das crateras revela que, felizmente, o número atual de fragmentos cósmicos decresce conforme o tamanho deles aumenta. Por isso, a probabilidade de colisão da Terra com um objeto maior é pequena, todavia não é nula. À medida que as observações se intensificam, cada vez mais têm sido descobertos asteroides com cerca de 1 km de diâmetro que passam a apenas centenas de milhares de quilômetros da Terra. Mas, se não podemos estar totalmente seguros de que tal colisão jamais venha ocorrer, a probabilidade de sua ocorrência é suficientemente pequena para que continuemos nos preocupando mais com os perigos mais iminentes do nosso dia a dia.

Um asteroide ou um cometa com cerca de 10 km certamente colidiu com a Terra há 65 milhões de anos, em cujo episódio se costuma inserir a extinção dos dinossauros. A cratera produzida teria uma centena de quilômetros. Uma colisão dessas proporções deve ocorrer estimativamente a cada 100 milhões de ano. Além dos efeitos catastróficos locais (formação da cratera, destruição da vegetação circundante por incêndio e onda de choque, fusão e solidificação do material do solo, chuva ácida etc.), teriam ocorrido efeitos globais, tais como, propagação de tsunamis destruidores pelos oceanos, prolongada obstrução à chegada dos raios solares ao solo por uma nuvem densa de poeira envolvendo todo o globo, etc.

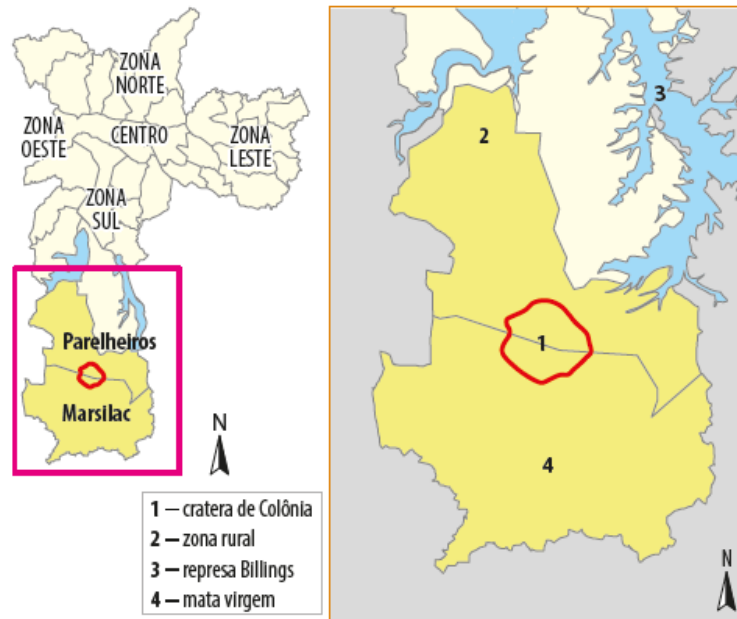
A queda de um objeto quilométrico tem probabilidade de uma ocorrência a cada 300 mil anos. No interior do Maranhão, a cratera da Serra da Cangalha produzida por um impacto cósmico, tem 12 km de diâmetro. A probabilidade de queda de um meteorito com centenas de metros é de uma ocorrência a cada 10 mil anos. Na zona sul do Município de São Paulo, em Vargem Grande, entre os distritos de Parelheiros e Marsilac, há uma cratera, conhecida como Cratera de Colônia, de possível origem cósmica.

A Cratera de Colônia localiza-se integralmente dentro dos limites do Município de São Paulo, na região sul, a 35 km da Praça da Sé (centro da cidade), na Área de Proteção Ambiental (APA) Capivari-Monos. Ao que parece é a única cratera, provavelmente de impacto, em ambiente urbano e é, também, a única com preenchimento sedimentar de turfa no hemisfério sul da Terra.

A cratera possui formato praticamente circular, bem destacado no relevo da região e apresenta diâmetro de 3640m. As elevações que compõem a borda circundante em forma de anel se elevam a aproximadamente 125 m acima da planície central. Esta, situada a cerca de 755 m de altitude, mostra características de pântano, uma vez que a drenagem, em tempos passados, era para o interior da mesma, com acúmulo de água e matéria orgânica.



Cratera do Arizona, EUA, com 1,3 km de diâmetro.

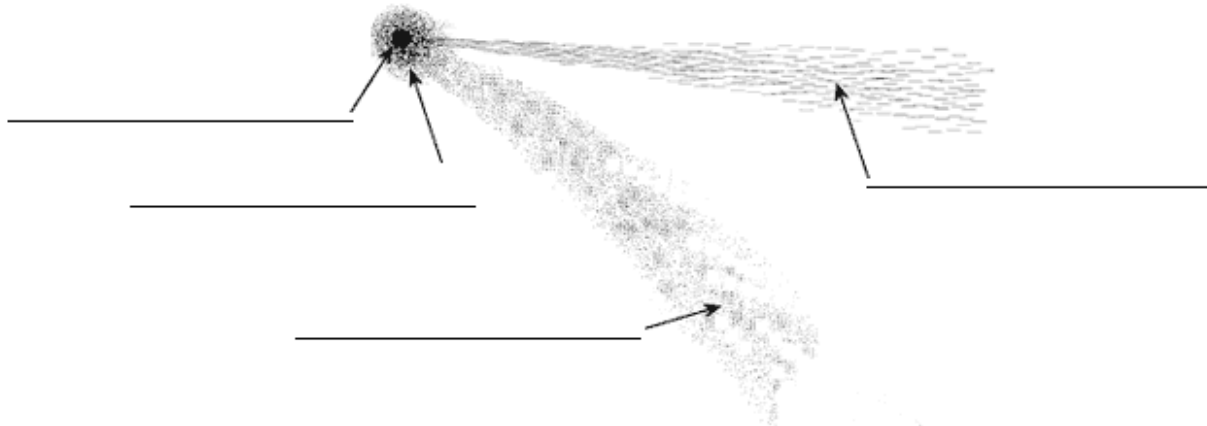


À esquerda, o mapa da cidade de São Paulo indicando a localização da cratera de Colônia.

À direita, o relevo da região onde se encontra a cratera.

Exercícios

1. Na figura abaixo, indique as partes do cometa.

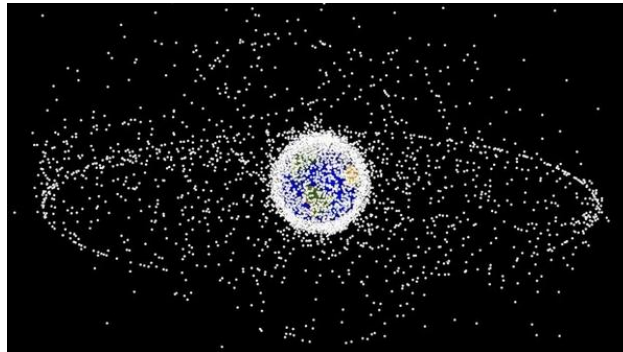


2. A respeito das chamadas estrelas cadentes, marque a alternativa correta:

- As estrelas cadentes são, na verdade, meteoritos que, ao entrarem na atmosfera terrestre, tornam-se incandescentes em razão do atrito com o ar.
- As estrelas cadentes resultam de fragmentos de asteroides ou restos de cometas que, ao entrarem na atmosfera terrestre, tornam-se incandescentes por conta do atrito com o ar.
- Em uma fase do processo de morte de uma estrela, fragmentos (estrelas cadentes) originam-se a partir das explosões estelares e viajam pelo espaço em uma altíssima velocidade.
- As estrelas cadentes são, na verdade, meteoros que, ao entrarem na atmosfera terrestre, tornam-se incandescentes por conta das reações químicas entre os elementos do meteoro e os elementos do ar.

3. Qual a diferença entre meteoróide, meteoro e meteorito?
4. Por que se vê mais estrelas cadentes depois da meia-noite do que antes da meia-noite?
5. Observe a figura a seguir:

Poluição Espacial



Fonte: Revista National Geographic

De acordo com a Agência Espacial Europeia entre 1957 e 2008 aproximadamente 6 mil satélites já foram lançados ao espaço, sendo que desses, apenas cerca de 800 continuam ativos.

Leia as alternativas a seguir.

- I. Uma grande quantidade de sondas, foguetes e satélites é lançada para missões espaciais. Quando desativados, ficam orbitando ao redor de nosso planeta e se acumulam porque não existem, no espaço, decompositores para eles.
- II. Os objetos lançados para o espaço são compostos em grande parte de material nuclear e equipamentos radioativos. Após serem desativados, esses objetos são capazes de causar sérios riscos à ecologia e à vida humana.
- III. A grande poluição do lixo espacial poderá levar a um "engarrafamento espacial" provocando até mesmo a colisão entre os objetos em órbita, comprometendo a pesquisa e o avanço da ciência.
- IV. Se atraídos pela força gravitacional terrestre, os fragmentos espaciais ameaçam ainda mais a população, podendo cair sobre os continentes ou oceanos e causar grandes catástrofes.

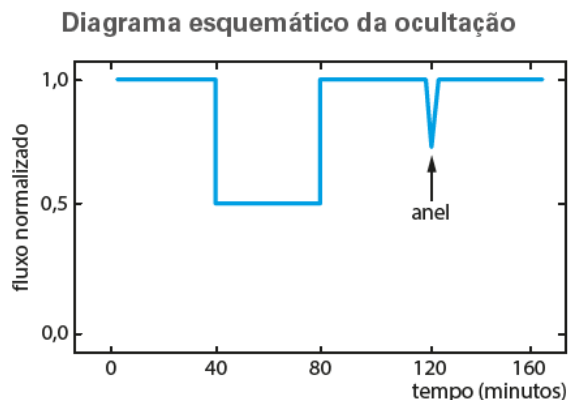
Estão corretas:

- a) apenas I e IV. b) apenas II e III. c) apenas I e III. d) apenas II e IV. e) todas as afirmações.

6. (OBA) Em virtude de sua alta temperatura, na ordem de 2 milhões de graus Celsius, a parte mais externa da atmosfera do Sol, chamada de *Coroa Solar*, é responsável pela emissão de um fluxo constante de partículas muito energéticas para todo o espaço, conhecido por *vento solar*. Essas partículas são, em sua maioria, elétrons, prótons e partículas alfa. O *vento solar* faz com que o Sol perca massa a uma taxa de cerca de 2 milhões de toneladas/segundo (1 ton = 1000 kg). Por conta do *vento solar*, quantos anos demora o Sol para perder a massa equivalente à massa da Terra?

Adote: massa da Terra $M_{Terra} = 6 \times 10^{24}$ kg e 1 ano = 3×10^7 s

7. (*Desafio*) Netuno, assim como os demais planetas gasosos, possui anéis. Os de Netuno e de Urano foram descobertos indiretamente quando uma estrela passou atrás destes planetas. Os de Netuno foram descobertos em 1984, usando a técnica de fotometria de alta resolução temporal. A ocultação de uma estrela por um planeta, asteroide, anel planetário, satélite, etc., é fonte de informações valiosas. O gráfico esquemático ao lado representa a observação fotométrica de uma ocultação central (a estrela passou pelo centro do planeta) de uma estrela por um planeta. O eixo horizontal marca os tempos decorridos de observação a partir de uma origem pré-fixada e o vertical o fluxo de energia recebido no detector. O fluxo de energia foi emitido pelo planeta, estrela, incluindo a contribuição do céu, além da inevitável presença do ruído instrumental.



a) Admitindo que a pequena depressão assinalada no gráfico foi a da ocultação da estrela pelo anel do planeta, determine, em função do raio (R) do planeta a que distância (D) o anel se encontra do centro do planeta.

b) Determine, pelo gráfico dado, o instante (em minutos) da ocultação da estrela pelo centro da sombra do planeta a partir do instante inicial das medições.



Videoaula – Sistema Solar II



Resoluções dos exercícios