

O estudo do Sistema Solar evoluiu muito ao longo dos últimos 50 anos. Isso se deu, em grande parte, graças ao lançamento de inúmeras sondas espaciais – que colheram informações sobre os planetas – e a uma nova geração de telescópios capazes de corrigir distorções causadas pela passagem da luz através da atmosfera terrestre, permitindo, assim, obter imagens de corpos celestes com nitidez nunca antes alcançada.

Os estudos não se limitam mais aos oito planetas, mas incluem agora um sem-número de luas e cometas, bem como o rastreamento de pequenos objetos que circulam errantes pelo Sistema Solar – e que podem causar cataclismos, caso colidam com a Terra.

Continua também a busca por indícios de vida em outros planetas e em suas luas distantes. Por que esse fenômeno só se desenvolveu na Terra? Estaria a vida extinta em outros astros? Ou apenas começa a surgir neles?

O leitor verá que continua a incessante busca do homem pelo conhecimento e sua saga rumo à conquista de novos mundos...

Com este folder, damos prosseguimento às atividades de divulgação científica realizadas pelo CBPF. Esta série destina-se ao público não especializado, que encontrará aqui uma visão moderna do Sistema Solar e também sugestões de leituras mais aprofundadas sobre esse tema. Mais uma vez, esperamos que esta iniciativa sirva para despertar vocações, mostrando a jovens estudantes como a ciência é interessante.

João dos Anjos

COORDENADOR DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA

PRESIDENTA DA REPÚBLICA
Dilma Rousseff

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Marco Antonio Raupp

SUBSECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA
Arquimedes Diógenes Ciloni

DIRETOR DO CBPF
Fernando Lázaro Freire Júnior

COORDENAÇÃO DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA
João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCTI)

REDAÇÃO E EDIÇÃO CIENTÍFICA
Daniela Lazzaro (Observatório Nacional/MCT)

EDIÇÃO DE TEXTO
Cássio Leite Vieira (Instituto Ciência Hoje)

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO, INFOGRÁFICOS E TRATAMENTO DE IMAGEM
Ampersand Comunicação Gráfica
www.amperdesign.com.br

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290-180 - Rio de Janeiro - RJ
Tel: (0xx21) 2141-7100
Fax: (0xx21) 2141-7400
Internet: <http://www.cbpf.br>

Para receber gratuitamente pelo correio um exemplar deste folder, envie pedido pelo sítio do projeto Desafios da Física (<http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>), onde estão disponíveis, em formato PDF, todos os folders da série. No portal <http://www.cbpf.br/Publicacoes.html>, estão disponíveis outras iniciativas de divulgação científica do CBPF.



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



CBPF

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

2012



O SISTEMA SOLAR

Nossa vizinhança cósmica

Sumário

CONHECENDO A VIZINHANÇA

Parte do conjunto
Missões e telescópios
Outros mundos

HISTÓRIA DA AVENTURA HUMANA

Os errantes
Terra e Sol no centro
Leis e lentes
Sétimo e oitavo
Nova classe de objetos
Ganhando forma

A FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

Vórtices, catástrofes
Nebulosa protossolar
Características do modelo
Colapso do aglomerado
Nasce uma estrela
Os planetesimais

ASTRO E COADJUVANTES

Terrestre e gigantes
Planetas-anões
Os cometas
Os asteroides
Os transnetunianos
Os satélites
Papel de destaque

NO BRASIL

Sólida tradição
Vigilância dos céus
Novas gerações

GRANDES DESAFIOS

Fases e vida
Mais questionamentos

Fontes

LAZZARO, D. 'O Sistema Solar e seus corpos extraordinários'. *Ciência Hoje* n.258, p. 40, 2009.
LAZZARO, D. 'A ponta do iceberg em Marte'. *Ciência Hoje* n. 184, p. 10, 2002.
LAZZARO, D. 'O fim do mundo?'. *Ciência Hoje* n. 187, p. 22, 2002.
IVANISSEVICH, A.; WUENSCHÉ, C. A.; VILLAS DA ROCHA, J. F. *Astronomia Hoje*. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje (2010).

O Sistema Solar
Nossa vizinhança cósmica



CONHECENDO A VIZINHANÇA

PARTE DO CONJUNTO • A Terra não é um corpo isolado, vagando no imenso universo. É, sim, parte de um conjunto que chamamos Sistema Solar. Da vizinhança de nosso planeta, fazem parte – além do Sol, nossa estrela –, oito planetas e uma miríade de corpos menores.

MISSÕES E TELESCÓPIOS • Nosso conhecimento sobre essa vizinhança aumentou de forma dramática nestes últimos 40 anos, devido às missões espaciais e, é claro, à melhoria dos telescópios e detectores aqui na Terra. Sondas

como Apollo, Voyager, Giotto, Pioneer, Viking, Galileo, Cassini, Clementine, Rosetta, Hayabusa, entre outras, visitaram todos os planetas, bem como vários satélites, anéis, asteroides e cometas.

OUTROS MUNDOS • Com a exploração espacial, os planetas deixaram de ser, para nós, apenas pontos brilhantes no céu noturno: passaram a ser outros ‘mundos’. Mundos novos que, assim como a Terra, precisam ser explorados, entendidos e – quem sabe? – até habitados.

HISTÓRIA DA AVENTURA HUMANA

OS ERRANTES • A primeira das populações do Sistema Solar a ser identificada foi a dos planetas, que se moviam em relação ao lento e imutável movimento das estrelas com o mudar das estações. Ganharam o nome ‘planeta’ (em grego, errante), sendo eles: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.

TERRA E SOL NO CENTRO • O sistema planetário foi inicialmente imaginado como corpos se movendo em círculos perfeitos em torno da Terra. Esse modelo geocêntrico, descrito pelo grego Ptolomeu, por volta de 200 d.C., seria questionado apenas em 1543, quando o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) propôs que o Sol estaria no centro do sistema. Inicialmente controverso, esse novo modelo, heliocêntrico, foi aceito graças a trabalhos de astrônomos como o dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), o alemão Johannes Kepler (1571-1630), o italiano Galileu Galilei (1564-1642) e o inglês Isaac Newton (1642-1727).

LEIS E LENTES • Em 1609, enquanto Kepler elaborava suas primeiras leis do movimento planetário, Galileu reconhecia a importância de um novo invento: o telescópio. Ele próprio construiu vários desses equipamentos, mostrando que uma composição de lentes permitia não só ver melhor, mas também de forma diferente. Suas observações forneceram os primeiros dados experimentais apontando o modelo geocêntrico como incorreto.

SÉTIMO E OITAVO • Com a aceitação do modelo heliocêntrico, a Terra – até então centro do ‘universo’ – foi incluída na lista dos planetas. Em 1781, um sétimo planeta, Urano, foi descoberto com a ajuda do telescópio. Já a descoberta de Netuno, em 1846, foi estimulada pelo fato de sua órbita divergir daquela prevista pela teoria da gravitação de Newton.

NOVA CLASSE DE OBJETOS • Em 1930, foi descoberto Plutão, considerado o nono planeta do

A FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

VÓRTICES E CATÁSTROFES • A formação do Sistema Solar sempre fascinou o homem. Inúmeras teorias foram propostas, desde vórtices imersos em um misterioso ‘éter’ até catástrofes, como a colisão do Sol com um cometa ou com outra estrela – o que teria retirado grande quantidade de matéria que viria a formar os demais corpos.

NEBULOSA PROTOSSOLAR • As bases do modelo de formação do Sistema Solar atualmente mais aceito foram propostas, na segunda metade do século 18, independentemente, pelo fi-



Sistema Solar até 2006. Essa classificação mudou devido à descoberta dos objetos transnetunianos – muito deles com tamanho comparável ao de Plutão. O asteroide Ceres, descoberto em 1801, teria destino semelhante. Identificado inicialmente como planeta entre Marte e Júpiter, passou a asteroide (o maior deles), na década de 1840, devido a seu pequeno tamanho. Hoje, Plutão e Ceres são protótipos de uma nova classe de objetos: os planetas-anões.

GANHANDO FORMA • Com a exploração espacial, a partir da década de 1950, os corpos do Sistema Solar passaram de pontos luminosos a objetos com forma. Em suas estruturas, foram identificadas crateras, montanhas e vulcões; em suas atmosferas, camadas de nuvens, auroras e imensos tufões. Foram descobertos satélites grandes e pequenos em torno de planetas, bem como corpos menores, como asteroides e objetos transnetunianos. Desvendaram-se sistemas de anéis, onde milhares de partículas ‘dançam’ em torno dos planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno).

lósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) e pelo matemático, astrônomo e físico francês Pierre Simon de Laplace (1749-1827). É a chamada hipótese Kant-Laplace da nebulosa protossolar.

CARACTERÍSTICAS DO MODELO • O modelo da nebulosa protossolar visa a reproduzir as características observadas do Sistema Solar: i) todos os planetas giram em torno do Sol na mesma direção, e o Sol gira em torno de seu eixo, na direção do movimento dos planetas; ii) os planetas (exceção de Vênus e Urano) giram em torno de seu eixo nessa mesma direção; iii) as órbitas dos planetas são quase circulares e coplanares; iv) apesar de variações que dependem da distância ao Sol, todos os corpos têm composição química similar e uma única idade de solidificação (4,55 milhões de anos); v) 99,8% da massa do Sistema Solar estão concentrados no Sol.

COLAPSO DO AGLOMERADO • A formação do Sistema Solar pode ser descrita assim: há cerca de 4,5 bilhões de anos, um pequeno aglomerado de

gás e poeira, em uma nuvem molecular gigante, começou a colapsar – talvez, devido a uma onda de choque provocada por uma supernova (explosão de estrela massiva ao final da vida). O aglomerado era formado por gás hidrogênio e hélio, bem como por pequena quantidade de elementos mais pesados, vindos de estrelas antigas.

NASCE UMA ESTRELA • Cerca de 100 mil anos depois, a gravidade e a inércia haviam moldado o aglomerado em um disco achatado de material em rotação, com uma estrela nascendo em seu centro. Passados mais 50 milhões de anos, o centro dessa protoestrela era quente o suficiente para fundir núcleos de hidrogênio: nosso Sol havia nascido.

OS PLANETESIMAIAS • No disco, os grãos espiralando em torno da nova estrela começam a formar os planetas. Para isso, foi preciso que o gás se condensasse em poeira e gelo, e estes se juntassem, dando origem aos precursores dos planetas: os planetesimais, que, por meio de colisões, cresceram e se tornaram complexos. O resultado é a grande diversidade de corpos observados no Sistema Solar hoje.

ASTRO E COADJUVANTES

TERRESTRE E GIGANTES • O Sistema Solar é composto por populações de corpos em órbita em torno do Sol, começando pelos oito planetas, classificados assim: terrestres (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) e gigantes (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), todos com órbitas bem distanciadas entre si e com suas zonas de influência. A capacidade de agregar a si os pequenos corpos nas fases iniciais da formação do Sistema Solar fez com que só esses oito corpos fossem classificados como planetas.

PLANETAS-ANÕES • Os planetas-anões, uma segunda classe de objetos, são relativamente grandes e estão em regiões povoadas por muitos corpos. Até o momento, há cinco corpos nesta classe: Ceres (entre Marte e Júpiter), bem como Plutão, Éris, Makemake e Huamea, estes para além de Netuno.

OS COMETAS • A terceira classe é a dos pequenos corpos, com milhares de objetos distintos tanto na localização quanto na composição. Os cometas, com suas caudas, vêm da Nuvem de Oort, reservatório que envolve esféricamente o

Sistema Solar a distâncias maiores que 7,5 bilhões de km (50 mil unidades astronômicas). São compostos por gelos de água, metano, amônia e outras substâncias que, ao se aproximarem do Sol, se volatilizam, formando a cabeleira (coma) e a cauda de poeira dos cometas.

OS ASTEROIDES • Outro reservatório de pequenos corpos é o cinturão dos asteroides, entre Marte e Júpiter. No início do Sistema Solar, a rápida formação de Júpiter interrompeu a agregação de matéria nessa região, fazendo com que milhares de pequenos corpos passassem a evoluir sob a forte influência gravitacional desse planeta gigante, o que levou objetos maiores do cinturão a colidir e a se fragmentar. Hoje, são conhecidos milhares desses objetos – e muitos ainda devem ser identificados os próximos anos.

OS TRANSNETUNIANOS • Além de Netuno, há o cinturão de objetos transnetunianos, que começou a ser descoberto a partir de 1992. Hoje, se conhecem, na região, mais de 2 mil corpos,



cujas composição é similar à dos cometas. Por estarem longe do calor do Sol, nunca volatilizam seus gelos.

OS SATÉLITES • Também há grande número de satélites em torno de planetas, planetas-anões, asteroides e objetos transnetunianos. Cada um dos planetas (exceção para Mercúrio e Vênus) tem um ou mais satélites. Alguns dos maiores: a Lua; Io, Europa, Ganimedes e Calisto (os quatro maiores de Júpiter); Titã (Saturno); Tritão (Urano). Cada um dos planetas gigantes também tem um sistema de anéis compostos por imenso número de pequenos corpos que seguem órbitas independentes umas das outras ao redor do planeta.

PAPEL DE DESTAQUE • O ator principal do Sistema Solar é o Sol. Apesar do papel de destaque, nossa estrela é relativamente ‘normal’, como milhares de outras. Pode ser descrita como uma bola de gás incandescente, com 1,4 milhão de km de diâmetro e temperatura média superficial de 6 mil graus celsius – esta podendo chegar a milhões de graus em seu interior.

NO BRASIL

SÓLIDA TRADIÇÃO • O Brasil tem sólida tradição no estudo da posição e dinâmica dos objetos do Sistema Solar, mas, só nos últimos 20 anos, começou a ter grupos ligados ao estudo das propriedades físico-químicas desses objetos. O Grupo de Ciências Planetárias do Observatório Nacional, no Rio de Janeiro (RJ), tem sido pioneiro nessa área, pesquisando a caracterização astrofísica de pequenos corpos. Seu reconhecimento internacional se deu com a realização do mapeamento de composições de asteroides, na forma do projeto S3OS2 (sigla, em inglês, para Mapeamento Espectroscópico de Pequenos Objetos do Sistema Solar), cujos dados sobre mais de 800 asteroides – o segundo maior catálogo do gênero até o presente – podem ser acessados em <http://sbn.psi.edu/pds/>

VIGILÂNCIA DOS CÉUS • O Grupo de Ciências Planetárias está engajado num projeto pioneiro no Brasil: a instalação e operação de um telescópio robótico de 1 m (diâmetro do espelho) dedicado ao estudo de objetos potencialmente perigosos para nosso planeta. Denominado IMPACTON (sigla para Iniciativa de Mapeamento e Pesquisa de Asteroides nas Cercanias da Terra no Observatório Nacional), o equipamento funciona desde 2011 em Itacuruba (PE).

NOVAS GERAÇÕES • Para despertar o interesse por essa área, foram realizados vários congressos internacionais, como o Rio de Janeiro International Workshop on Planetary Sciences (1996), o Asteroids, Comets, Meteors (2005) e o Icy Bodies in the Solar System (2009) – este último como parte da Assembleia Geral da União Astronômica Internacional. Esses eventos têm contribuído para o aumento do número de grupos da área e para o surgimento de novas gerações de pesquisadores.

GRANDES DESAFIOS

FASES E VIDA • Apesar dos imensos avanços no conhecimento sobre nossa vizinhança cósmica, há ainda desafios, que podem ser resumidos assim: i) entender melhor todas as fases de formação do Sistema Solar e seus diferentes corpos; ii) entender os requisitos para o surgimento da vida.

MAIS QUESTIONAMENTOS • A seguir, perguntas para as quais se esperam respostas na próxima década:

- quais as fases iniciais, as condições e os processos da formação do Sistema Solar e qual a natureza do material interestelar que foi incorporado por seus objetos? Qual o papel da mistura de materiais na formação planetária?;
- como os planetas gigantes e seus satélites se formaram? Permaneceram onde se formaram ou migraram?;
- O que governou a atração de matéria, o suprimento de água, a química e a diferenciação interna dos planetas terrestres, bem como a evolução de suas atmosferas? Que papel teve na evolução deles o bombardeamento por grandes corpos cósmicos?;
- quais as fontes primordiais do material orgânico e onde ainda ele é sintetizado atualmente?;
- será que Marte ou Vênus tiveram água e isso teria levado ao surgimento da vida nesses planetas? Há evidências de que vida de fato emergiu nesses corpos?;
- além da Terra, há outro lugar do Sistema Solar com condições (material orgânico, água, energia, nutrientes etc.) para manter a vida? Existiria vida nesses locais?

