

CAPÍTULO 7

Sondas espaciais

SILVIA MARIA GIULIATTI WINTER

Neste capítulo será apresentado um conjunto significativo de missões espaciais que visitaram os corpos do nosso Sistema Solar, colaborando imensamente com o conhecimento que temos hoje a respeito do Sol, dos planetas com seus satélites e anéis, dos asteróides e dos cometas.

1. Introdução

Completamente fascinado pelas estrelas, Sol, Lua e pelos corpos errantes (planetas), o homem sempre observou o céu, mesmo antes de saber ou poder explicá-lo. As observações a olho nu possibilitaram a descoberta dos planetas Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. A utilização da luneta, pelo astrônomo italiano Galileo Galilei, para observar os corpos celestes, no século XVII, foi um marco na Astronomia. Além da descoberta dos satélites de Júpiter (Io, Europa, Ganimede e Calisto), chamados de satélites galileanos, das fases de Vênus e dos anéis de Saturno, essas novas informações foram fundamentais para, de um lado, confirmar a teoria heliocêntrica, na qual o Sol é o centro do sistema e os planetas estão em órbita ao seu redor, e, de outro, refutar a teoria geocêntrica vigente até então, de que a Terra era o centro do sistema.

Com o passar do tempo, os telescópios foram ficando cada vez mais po-

tentes, permitindo ao homem a descoberta de outros planetas do Sistema Solar, com satélites e anéis próprios. Entretanto, foi a exploração do espaço, nascida durante a Guerra Fria entre os Estados Unidos (EUA) e a antiga União Soviética (URSS), que trouxe enorme quantidade de informações a respeito do nosso Sistema Solar, informações essas que não eram possíveis de serem obtidas através dos telescópios.

Nosso Sistema é formado pelo Sol, com 99% da massa de todo sistema, pelos planetas, com seus satélites e anéis e pelos cometas e asteróides. Os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte são classificados como planetas rochosos. Já os planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno são classificados como planetas gasosos. Com exceção de Mercúrio e Vênus, todos os planetas possuem satélites orbitando ao seu redor. Os planetas gasosos possuem um sistema de anéis planetários compostos por partículas. O tamanho das partículas varia da ordem de micrometros à quilômetros. Todos os planetas, terrestres e gasosos, do nosso Sistema Solar, bem como os satélites e anéis já foram explorados por sondas espaciais.

Plutão, atualmente classificado como um planeta anão, forma um sistema binário com Caronte. Em 2006, dois novos corpos foram descobertos em órbita ao redor do centro de massa de Plutão-Caronte: são os satélites denominados Nix e Hidra. Somente esse sistema binário ainda não recebeu a visita de uma sonda espacial.

Na tabela 1 estão listados a massa (em kg) e o raio (em km) de cada planeta, além da distância do planeta ao Sol. A distância está indicada em Unidades Astro-

PLANETA	DISTÂNCIA AO SOL (UA)	RAIO (Km)	RAZÃO DE MASSA (X 10 ²⁴ kg)
Mercúrio	0,4	2440	0,3
Vênus	0,7	6052	4,9
Terra	1	6378	6
Marte	1,5	3394	0,64
Júpiter	5,2	71398	1898,6
Saturno	9,5	60330	568,5
Urano	19,2	26200	86,8
Netuno	30,1	25225	102,4

nômicas (UA), onde 1UA equivale a $1,5 \times 10^8$ km. A massa do Sol é $1,2 \times 10^{30}$ kg e seu raio é aproximadamente 109 vezes maior que o raio da Terra.

Os asteróides são corpos menores, com formato irregular, em órbita ao redor do Sol (órbita heliocêntrica). A maior parte dos asteróides está concentrada na região entre os planetas Marte e Júpiter, chamada Cinturão Principal de Asteróides. Existem alguns, denominados asteróides Troianos, que estão na mesma órbita que Júpiter, e outros que estão localizados a uma distância superior à distância Sol-Saturno (9,5UA).

Figura 1: Cinturão principal de asteróides localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter

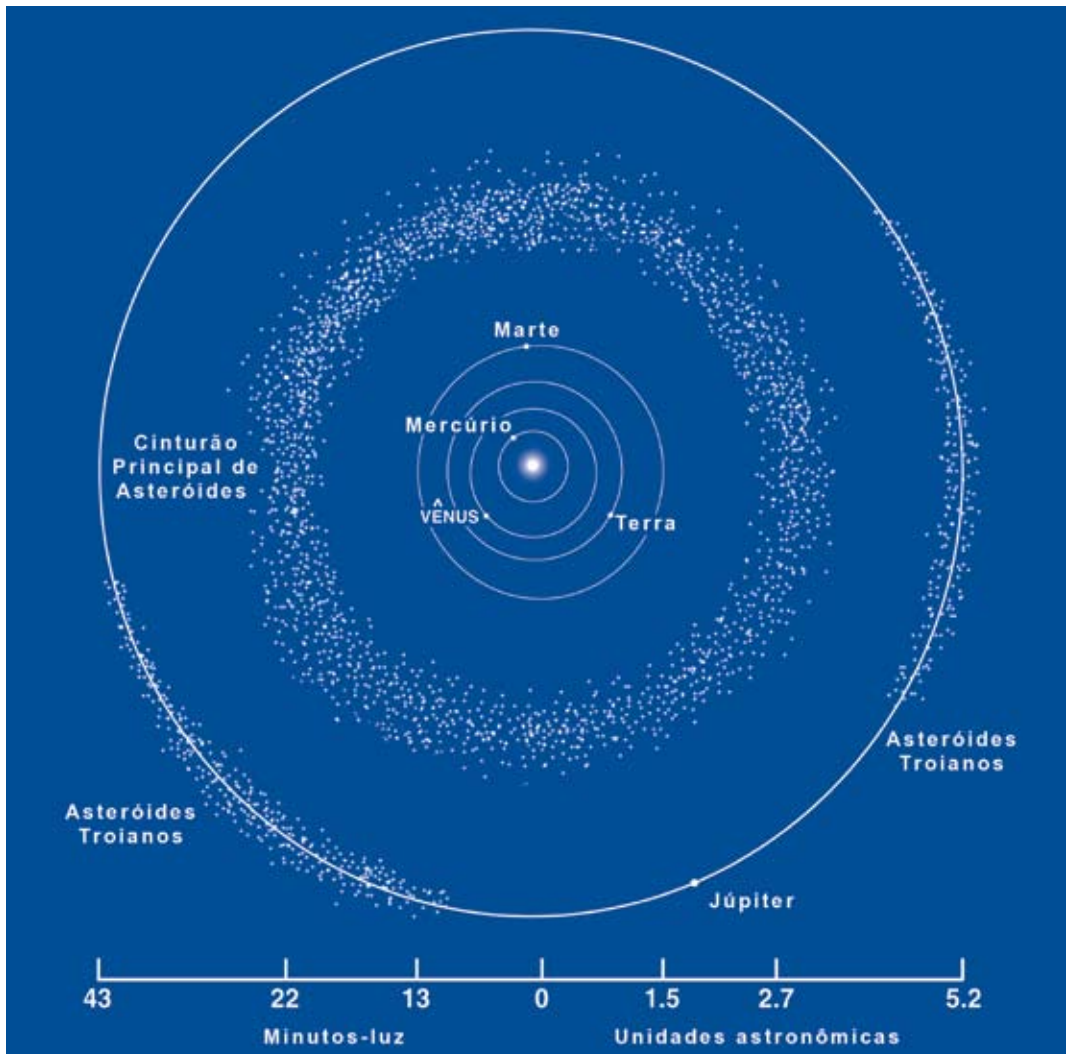




Figura 2:
Imagem do cometa
Halley obtida em 1986.

Outra classe de objetos pertencentes ao Sistema Solar, os cometas, são compostos por um núcleo de aproximadamente 10km de diâmetro, a cauda, que pode chegar a 1UA de extensão e a coma, localizada mais próxima ao núcleo, composta de gás e poeira ejetadas pelo próprio núcleo do cometa.

A dificuldade em estudar os planetas e outros objetos se deve a vários fatores, entre eles a enorme distância que separa os planetas do Sol, principalmente os gasosos, sendo que a luz vinda da nossa estrela (o Sol) decresce ao quadrado da distância planeta-Sol.

Para obter informações adicionais a respeito dos corpos foi preciso esperar o avanço tecnológico das missões espaciais e dos veículos lançadores, responsáveis por enviar as sondas ao espaço. Uma missão espacial carrega o máximo possível de instrumentos científicos que coletarão informações a respeito do corpo celeste e do espaço que o circunda, e a partir daí transmiti-las à Terra. A luz emitida pelos objetos fornece informações a respeito da superfície, atmosfera e também a posição desses objetos.

Dentre os instrumentos científicos a bordo das sondas, podemos destacar o espectrômetro, o fotômetro, o polarímetro e as câmeras que fotografam os corpos celestes. Algumas sondas também podem pousar no objeto a ser estudado, como é o caso da sonda Huygens que pousou no satélite Titã de Saturno.

Os dados obtidos pelos instrumentos a bordo de uma sonda espacial são armazenados e enviados à Terra através de ondas de rádio. Uma rede internacional de antenas conhecida como “Deep Space Network” (DSN), a maior antena mede



Figura 3:
Foto de uma das antenas
pertencentes à rede DSN.

70m de diâmetro, recebe e envia dados às sondas espaciais. Essa rede internacional está localizada em três países, EUA, Espanha e Austrália, com configuração tal que permite sempre a comunicação com as sondas. Esses dados são processados e analisados por grupos de pesquisadores. Os resultados obtidos após as análises são então divulgados através de artigos em revistas especializadas ou apresentados em congressos nacionais e internacionais.

Uma missão espacial pode ser projetada para estudar um conjunto de objetos, como por exemplo a sonda Voyager 2 que visitou Júpiter, Saturno, Urano e Netuno ou captar dados de objetos durante sua trajetória, como foi o caso da sonda New Horizon que coletou informações a respeito do sistema de Júpiter no começo de 2007, quando estava a caminho de Plutão.

Dependendo do objetivo da missão espacial, a sonda poderá ficar em órbita ao redor do corpo celeste que está analisando, como a sonda Cassini que está ao redor de Saturno; ou realizar uma passagem (“fly-by”) ou várias passagens próximas ao corpo a ser estudado, a exemplo das sondas Voyager 1 e 2. Devido ao fato de ser muito mais fácil, e também mais econômico, uma sonda espacial realizar um “fly-by” do que orbitar um objeto, as primeiras missões aos planetas gasosos realizaram “fly-bys”. A sonda Mariner 9, lançada em 1977, foi a primeira sonda a orbitar um objeto celeste, no caso o planeta Marte. Mas, durante o tempo em que a sonda permanece orbitando ao redor do objeto ela tem mais oportunidade de coletar dados do que quando realiza um “fly-by”.

Para percorrer essa enorme distância que separa a Terra dos outros corpos

são necessárias algumas manobras orbitais. Muitas sondas espaciais utilizaram a técnica da gravidade assistida para alcançar seus objetivos nos lugares mais remotos do nosso sistema, por exemplo, as sondas Voyager, Galileo e Cassini. A gravidade assistida utiliza a alteração que um objeto sofre em sua trajetória quando este passa próximo a um planeta ou a um satélite. Durante esse encontro há um aumento ou diminuição na energia da sonda espacial levando a uma variação na sua velocidade. Os veículos lançadores dessas sondas deram somente energia necessária para que elas chegassem próximo a Júpiter.

O combustível que uma sonda espacial carrega é utilizado também para manter os instrumentos em funcionamento e para realizar algumas manobras durante o tempo de vida da missão. Toda a trajetória e os dados a serem coletados durante a missão sempre são previamente estudados e analisados pela equipe responsável. Caso ocorra algum evento extra que possa ser analisado pela sonda durante seu trajeto, esta pode ser redirecionada pela equipe através de comandos enviados por ondas de rádio a fim de preparar os instrumentos para mais essa nova coleta de dados. Isso aconteceu com a sonda Cassini durante seu percurso a Saturno. Ela passou muito próximo a um asteroide e alguns de seus instrumentos foram redirecionados para obter informações desse objeto.

Desde a primeira missão espacial lançada na década de 70 até os dias atuais houve um avanço significativo nos instrumentos e na própria construção das sondas. Cada missão colaborou com o conhecimento que temos hoje do Sistema Solar, e também ajudou no aprimoramento dos instrumentos a bordo de uma nova missão.

2. Sol e exploração dos planetas internos

O Sol, a estrela mais próxima e responsável por quase toda a energia que chega à Terra, é um corpo complexo que merece atenção especial. O núcleo, com temperatura de ~15 milhões de graus Kelvin e contendo 50% de toda a massa solar, e a atmosfera formam nosso Sol. A atmosfera está dividida em camadas: a fotosfera (com temperatura de ~57800K), a cromosfera (com uma largura de somente 1000km) e a corona (camada mais externa). Os elementos químicos principais que compõem o Sol são o hidrogênio (mais que 90%) e o hélio (~8%). As manchas solares, presentes na atmosfera solar, são regiões escuras que se formam na fotosfera com tamanho similar ao tamanho da Terra. O número de manchas solares varia em um período de onze anos, tendo picos de máximo e mínimo. A expansão dessa atmosfera causa um fluxo de partículas carrega-

das, chamado de vento solar, que se move em direção contrária ao Sol.

Estudar esses fenômenos que ocorrem em nossa estrela e a interação com a Terra é o objetivo principal das várias sondas que visitaram o Sol. As sondas pioneiras, denominadas Helios 1 e 2, foram lançadas em 1974 e 1976, respectivamente, sendo uma missão conjunta entre os EUA, responsáveis pelos veículos lançadores, e a antiga República Federal da Alemanha, responsável pela sonda.

A sonda Helios 1 carregava 8 instrumentos científicos com o objetivo de investigar o vento solar, os campos elétrico e magnético, os raios cósmicos e a poeira cósmica. A missão Helios 2, gêmea da Helios 1, levou 11 instrumentos científicos e chegou mais próxima ao Sol, a apenas 44 milhões de quilômetros.

A sonda Ulysses, lançada em 1990 pelo Ônibus Espacial Discovery, está em uma órbita altamente inclinada permitindo observar os pólos do Sol. Essa órbita foi adquirida através da manobra de gravidade assistida, após passar próximo ao planeta Júpiter. É uma missão de responsabilidade das agências americana, NASA, e europeia, ESA. Entre seus objetivos podemos citar o estudo da origem

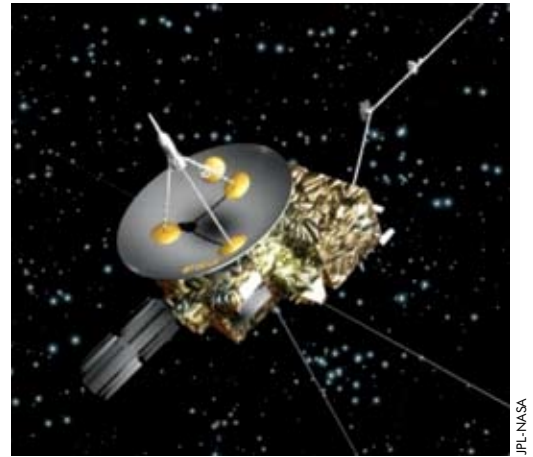


Figura 4: A sonda Ulysses

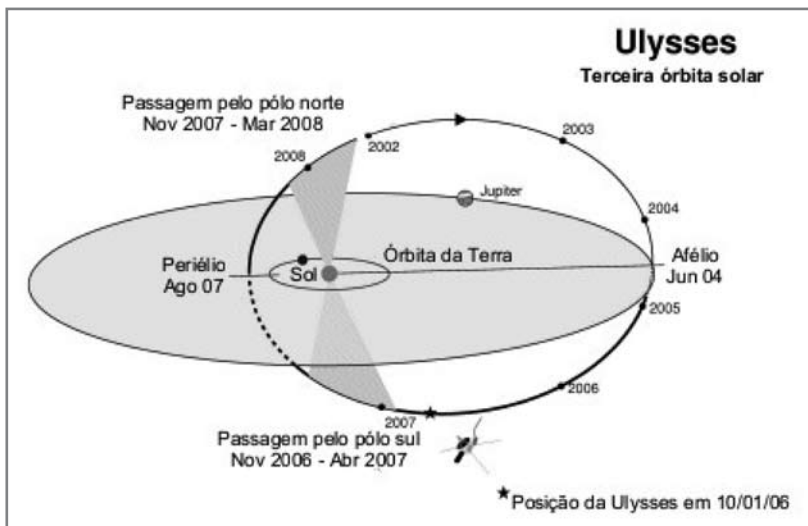


Figura 5:
Trajetória da
sonda Ulysses

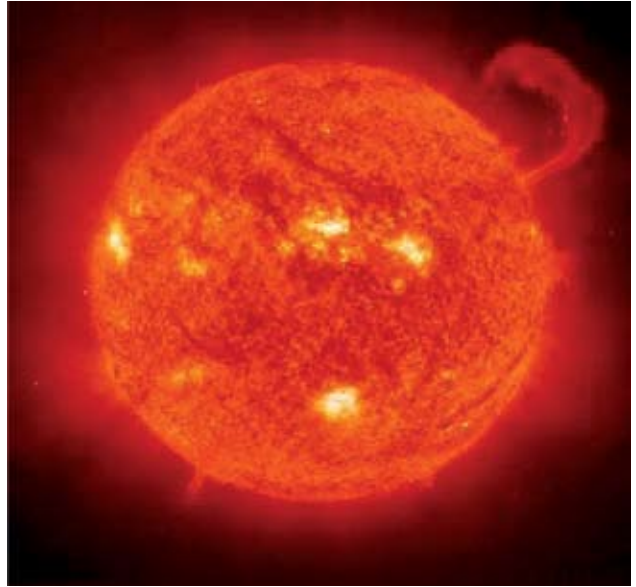


Figura 6: Imagem do Sol, obtida pela SOHO em 2000

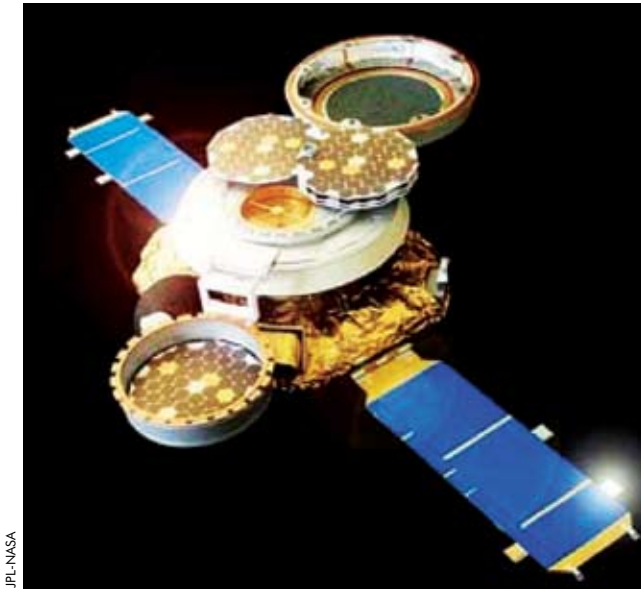
JPL-NASA

do vento solar e da poeira interestelar.

Outra sonda resultado da parceria NASA e ESA é a sonda SOHO (“Solar and Heliospheric Observatory”) lançada em 1995. SOHO está localizada entre o Sol e a Terra, em um ponto de equilíbrio, chamado ponto de equilíbrio Lagrangiano L1, a uma distância três vezes maior que a distância Terra-Lua. Essa posição permite à sonda receber a luz solar constantemente. Doze instrumentos científicos estão a bordo dessa sonda enviando dados a respeito da estrutura e da dinâmica interna do Sol, da corona e do vento solar. A sonda SOHO também foi responsável pela descoberta de mais de 600 cometas.

A sonda Genesis, lançada em 2001, teve como meta principal a coleta de partículas do vento solar. A sonda passou parte de sua missão, quase 30 meses, localizada no ponto de equilíbrio L1, e em 2004 um conjunto de coletores retornaram à Terra. Embora os pára-quadras tivessem falhado durante a descida, danificando significativamente o material recolhido, ainda foi possível salvar alguns coletores de partículas. Pesquisadores acreditam que dados obtidos desse material poderá trazer informações sobre a origem da nebulosa que formou nosso Sistema Solar. A sonda Genesis, com os painéis solares e os instrumentos científicos, voltaram ao ponto de equilíbrio (após enviarem os coletores à Terra) e permaneceram lá até 2005 quando a sonda deixou a vizinhança do ponto L1 e seguiu para uma trajetória heliocêntrica.

STEREO são duas sondas gêmeas, A e B (“Ahead” e “Behind”, respectivamente), que foram lançadas em 2006 em órbitas heliocêntricas. Para conseguir obter a



JPL-NASA

Figura 7: Imagem da Sonda Genesis com seus coletores e os painéis solares (em azul)

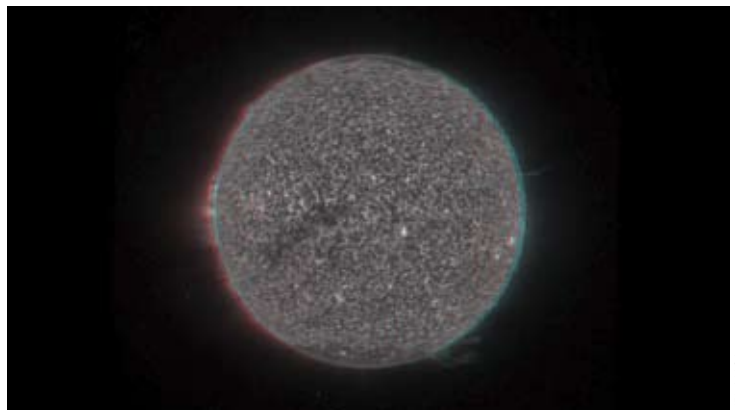


Figura 8: Imagem do Sol em 3-dimensões

JPL-NASA

separação desejada entre as duas órbitas foram necessários dois “fly-bys” lunares. Cada sonda carrega 7 instrumentos que estudarão a evolução em 3-dimensões de ejeções de massa da coroa, desde o nascimento na superfície do Sol até um eventual impacto com a Terra. A obtenção de imagens em 3-dimensões é possível devido à configuração entre as sondas, a Terra e o Sol. A estrutura, em detalhes, da cauda do cometa McNaught também foi observada pelas sondas. Nos próximos anos uma grande quantidade de dados serão obtidos pela STEREO, permitindo um melhor conhecimento do Sol e da região vizinha.

Outras sondas estão observando o Sol: TRACE (“Transition Region and Coronal Explorer”), HESSI (“High Energy Solar Spectroscopic Image”) e Solar-B.

Várias sondas desenvolvidas nos EUA e na antiga União Soviética visitaram os planetas rochosos ou terrestres: Mercúrio, Marte e Vênus. O planeta mais próximo ao Sol, Mercúrio, foi visitado pela sonda Mariner 10 durante três “fly-bys” ocorridos na década de 70. Os dados obtidos de aproximadamente 45% da superfície do planeta revelaram que Mercúrio tem a superfície similar à da Lua, dominada por crateras.

A missão Messenger, lançada em agosto de 2004, chega ao planeta em 2008. A sonda está preparada para resistir ao calor do Sol, já que a temperatura na superfície de Mercúrio pode chegar a 450°C. A sonda passou próximo a Vênus em 2006 e 2007, permitindo a coleta de dados do planeta. Antes de orbitar Mercúrio a sonda terá três aproximações com o planeta e somente em 2011 ela começará a orbitá-lo.

Marte tem sido mais ainda alvo da atenção desde tempos remotos devido à coloração avermelhada que apresenta, entretanto é a sua semelhança, quando visto no telescópio, com o nosso planeta que tem chamado a atenção da comunidade científica. Marte tem atmosfera, nuvens, calotas polares e estações do ano. Tem também dois satélites, denominados Fobos e Deimos. No final do século XIX, após várias especulações, P. Lowell escreveu em seu livro intitulado “Marte”, que os canais supostamente vistos no planeta escoavam água vinda dos pólos. Segundo C. Flammarion esses canais distribuíam água pelo planeta e os habitantes de Marte deveriam ser mais inteligentes que os da Terra. Dados enviados por sondas espaciais mostraram que Marte não apresenta nenhum desses canais.

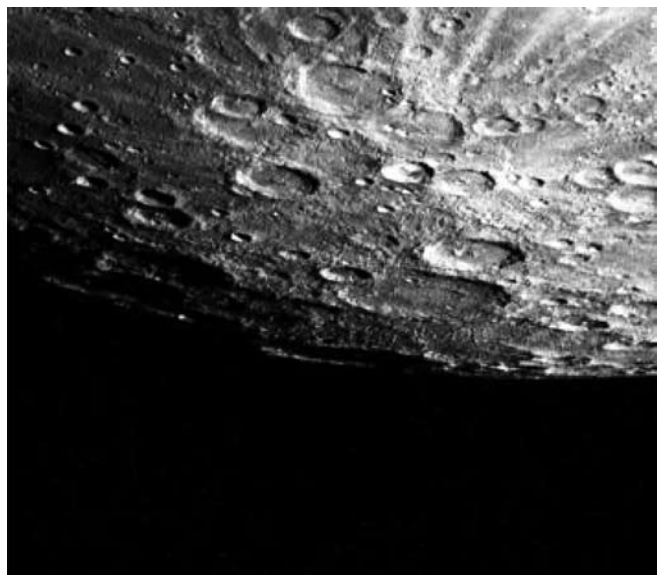


Figura 9: Foto tirada pela sonda Mariner 10 mostra a superfície de Mercúrio



Figura 10:
O maior vulcão de Marte,
Olympus Mons

A exploração do planeta Marte ocorreu em três estágios: sondas que realizaram “fly-bys” (Mariner 3-4), sondas que orbitaram o planeta (Viking 1-2) e sondas que transportavam “módulos e jipe” que desceram até a sua superfície (Pathfinder).

As sondas Mariner obtiveram as primeiras imagens de Marte na década de 70, as quais revelaram um planeta com crateras (semelhantes às da Lua) e sem vida. Entretanto, essa visão foi alterada a partir dos dados obtidos pela Mariner 9, o primeiro satélite artificial de Marte. Essa sonda orbitou o planeta, ao contrário das sondas anteriores que realizaram “fly-bys”, revelando o complexo planeta que conhecemos hoje. Como a sonda orbitou Marte ela teve tempo suficiente para esperar o fim de uma tempestade, aproximadamente um mês, e obter dados da superfície além de imagens dos satélites Fobos e Deimos. O maior vulcão de Marte é chamado de Olympus Mons com 700km de largura e é três vezes maior que o Monte Everest. Vale ressaltar que o maior vulcão da Terra, Mauna Loa no Havaí, tem 120km de largura.

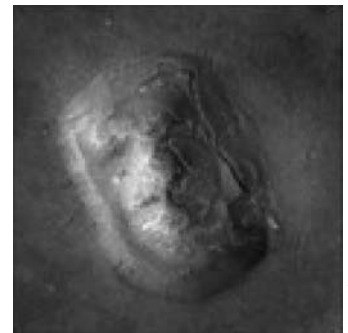
As missões Vikings, que incluíam sonda e módulo, e pousaram na superfície do planeta, foram primeiramente idealizadas para pesquisar a existência de vida em Marte. Os módulos pousaram em 1976 na superfície de Marte e enviaram dados. As duas outras sondas, que faziam parte da missão, permaneceram em órbita ao redor de Marte. As sondas fotografaram toda a superfície do planeta com uma resolução de 10m. Com os dados obtidos, sabe-se hoje que Marte tem superfícies recentes em um hemisfério e antigas em outro, além de vulcões, crateras de impacto e que sua superfície é constantemente modificada por vento e gelo. A composição química do planeta foi desvendada pela Viking 1.

A missão Mars Global Surveyor, lançada em 1996, permaneceu em órbita ao redor de Marte por dez anos, até fim de 2006, quando foi cessada a comunicação

com a sonda, provavelmente devido a problemas no computador. A sonda mapeou a superfície do planeta e obteve dados em relação à composição da atmosfera e ao campo magnético de Marte. Uma imagem foi enviada pela Viking, é a imagem da região Cydonia. Essa imagem é famosa, pois devido à sombra projetada ela aparenta uma face humana. Na realidade, essa formação se deve a processos geológicos naturais, e não, como alguns grupos especularam, um artefato criado por seres inteligentes. A sonda Mars Global Surveyor dará subsídios às futuras missões ao planeta Marte.

A missão Mars Pathfinder foi a combinação de uma sonda, um módulo (Carl Sagan Memorial Station) e um jipe (Sojourner), que explorou o solo de Marte. Lançado em 1996 o módulo pousou na superfície de Marte em 1997. Foi utilizado um método inovador para entrar na atmosfera do planeta. Assim que foi lançado, o módulo utilizou um pára-quadras para desacelerar sua descida através da tênue atmosfera do planeta, e bolsas de ar para amortecer o impacto com a superfície. Do tamanho de um microondas e pesando aproximadamente 20 quilos (com os instrumentos à bordo), o jipe tinha uma velocidade de 1cm/s e se comunicava com a Terra através do módulo. A enorme quantidade de informação, obtida pelo

Figura 11: Em julho de 1976 a Viking obteve essa imagem da região Cydonia e a Mar Global Surveyor enviou uma imagem da mesma região em 2001



JPL/NASA



JPL-NASA

Figura 12: Imagem da rocha Yogi e o jipe Sojourner

módulo e pelo jipe, sugere que Marte possa ter sido um corpo quente e úmido com a existência de água em estado líquido. Essa missão foi um sucesso nos termos da filosofia da NASA, de projetar missões mais rápidas, baratas e melhores.

Os objetivos da missão Mars Odyssey, lançada em abril de 2001, eram: determinar se o ambiente em Marte foi ou é favorável à existência de vida, estudar o clima e a geologia do planeta e obter dados para uma futura exploração humana. Em outubro de 2001 a sonda diminuiu sua velocidade para ser capturada em órbita ao redor de Marte. Utilizando a atmosfera do planeta, a sonda conseguiu diminuir sua velocidade e ser capturada pelo planeta, não havendo a necessidade de utilizar seus motores. Através dos dados já obtidos, cientistas descobriram água no estado sólido em várias profundidades e isso ajudará a localizar as regiões em que a missão Phoenix Mars Lander irá cavar à procura de água.

No início de 2004 dois robôs chegaram à superfície de Marte. Durante sua jornada a caminho do planeta, Spirit (um dos robôs) realizou quatro manobras de correção, enquanto o robô Opportunity realizou somente três. Cada um desses robôs carrega 5 instrumentos científicos, entre esses instrumentos está uma câmera panorâmica.

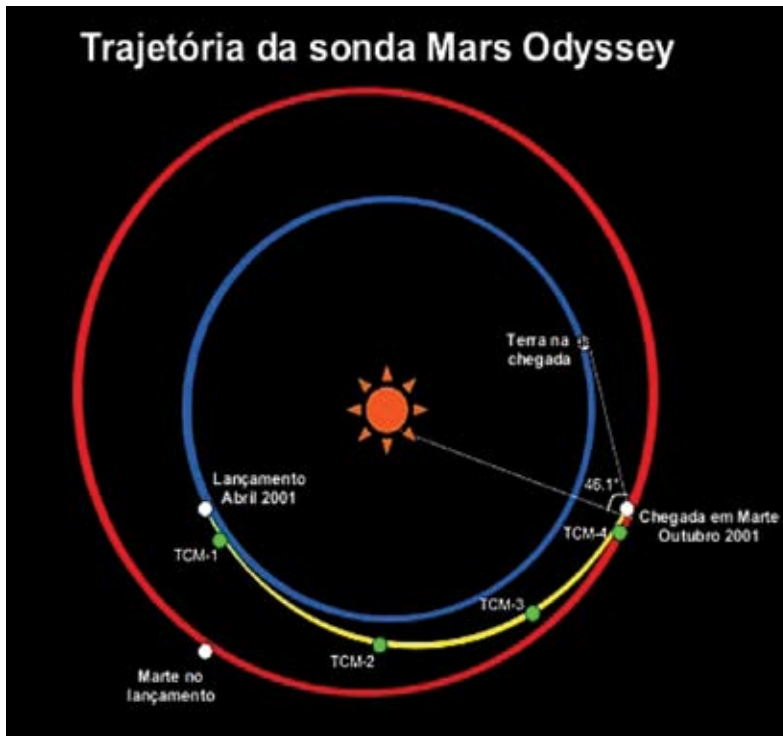
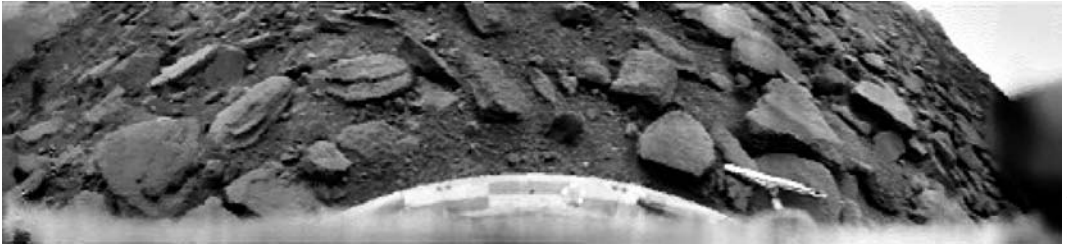


Figura 13:
Trajetória da sonda Mars Odyssey até sua chegada a Marte



JPL-NASA

Figura 14: Imagem da superfície de Vênus obtida através do módulo, lançado pela sonda Venera 9 em 1975



JPL-NASA

Figura 15: Panorama da superfície de Vênus obtida pelo módulo lançado pela sonda Venera 13

Vênus é um planeta similar em tamanho e densidade à Terra. É coberto por uma densa atmosfera que reflete a luz solar e evita a perda de calor. A atmosfera de Vênus consiste principalmente de dióxido de carbono com nuvens de ácido sulfúrico. E é essa atmosfera densa que torna a sua superfície pouco acessível aos telescópios e às câmeras das sondas espaciais.

Um conjunto de sondas denominado Venera fez parte do programa espacial da antiga União Soviética e que deu início à exploração de Vênus, sua atmosfera, nuvens e superfície. A primeira sonda a lançar, com sucesso, um módulo foi Venera 3 em 1965. A sonda Venera 9 (e sua gêmea, a sonda Venera 10), lançada dez anos mais tarde, consistia de uma sonda, com sete instrumentos científicos, que orbitaria o planeta e um módulo, com dez instrumentos, que desceria até a superfície. Esse módulo enviou dados durante aproximadamente 50 minutos à sonda Venera 9 que, posteriormente, os enviou à Terra.

As sondas Venera 11 e 12 diferiram de suas antecessoras ao carregar novos instrumentos científicos, além de melhorar os já existentes. As sondas Venera 13 e 14 utilizaram um instrumento que possibilitou coletar amostra do solo para que os instrumentos a bordo do módulo pudessem analisá-lo, sucesso este que não tiveram as sondas Venera 11 e 12. O módulo obteve imagens coloridas do planeta e as imagens obtidas pela sonda Venera 13 mostrou que Vênus apresentava uma superfície escura e quase sem cor. As sondas Venera 15 e 16 se dedicaram a mapear, através de radar, a superfície do planeta.

No início da década de 60 o “Jet Propulsion Laboratory” (JPL) desenhou e construiu um conjunto de sondas, chamado Mariner, no intuito de estudar os três planetas internos Mercúrio, Vênus e Marte. As sondas carregaram painéis solares apontados para o Sol e uma antena apontada para a Terra que era a responsável por fazer a comunicação através da “Deep Space Facility” (mais tarde denominada “Deep Space Network”). A Mariner 2, a segunda sonda a ser lançada em 1962 com sucesso (a Mariner 1 foi acidentalmente destruída) retornou dados do vento solar, da poeira interplanetária e das nuvens de Vênus.

A Mariner 10 foi uma sonda pioneira na exploração de Vênus e Mercúrio. Através da manobra de gravidade assistida em Vênus, a sonda foi desviada em direção a Mercúrio. Durante esse “fly-by” em Vênus a sonda coletou mais dados sobre as nuvens e a atmosfera do planeta.

Vega 1 e 2 foram projetadas por vários países europeus e pela antiga União Soviética para realizar três objetivos audaciosos. O primeiro seria o de soltar balões na atmosfera de Vênus, o segundo consistiu em lançar um módulo que pousaria na sua superfície e finalmente, o terceiro seria chegar próximo ao cometa Halley. Vega 1 soltou o módulo em direção à superfície de Vênus em 1985 e a aproximadamente 60km um balão foi solto na atmosfera transferindo por quase 50 minutos importantes dados à Terra. Completada essa parte da missão, as sondas Vega 1 e 2 partiram em direção ao cometa Haley.

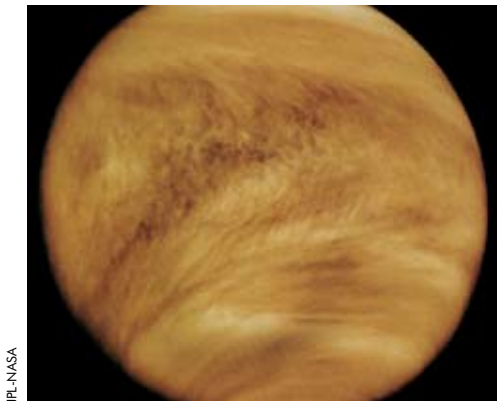


Figura 16: As nuvens de Vênus vista pela Pioneer Venus em 1979

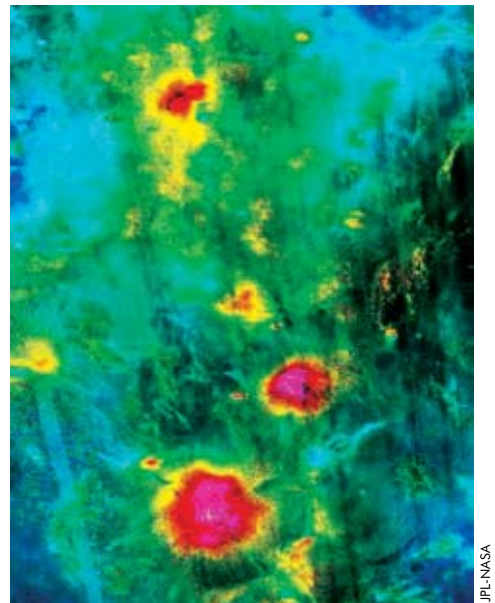


Figura 17: Atividade vulcânica em Vênus

A missão Pioneer Venus Orbiter carregou um total de 17 instrumentos científicos e foi inserida em órbita elíptica ao redor do planeta Vênus em 1978. Nosso entendimento da superfície de Vênus teve um grande avanço desde os dados obtidos pela Venera 15 e 16 e a Pioneer Venus. Os mapas obtidos mostraram que a superfície de Vênus é plana.

A sonda espacial Messenger realizou um “fly-by” chegando a aproximadamente 300km da superfície de Vênus. Com a ajuda da gravidade assistida a sonda chegará a Mercúrio. Além de transportar os instrumentos científicos usuais, a sonda possui ainda um instrumento a laser que ajudará a penetrar a atmosfera de Vênus e, assim, enviar dados mais precisos.

Em junho desse ano um evento único ocorreu: as sondas Messenger e Venus Express observaram o planeta Vênus. A sonda Venus Express, lançada em 2005, foi financiada pela agência espacial europeia (ESA). A configuração das sondas permitiu que Venus Express observasse a mesma região que a Messenger, possibilitando a comparação entre os dados enviados pelas duas sondas.

Não obstante ter sido um evento inédito, foi mesmo a sonda Magalhães (lançada em 1989) que enviou a maior quantidade de dados a respeito do planeta, permitindo conhecer aproximadamente 97% de sua superfície. Atividade vulcânica foi sugerida pelas imagens da sonda Magalhães. A sonda Venera também obteve evidência de atividades vulcânicas quando o módulo pousou na superfície do planeta.

Vênus foi fotografado pela sonda Galileo durante sua trajetória a Júpiter em 1990. Dentre os dados obtidos há informações a respeito das nuvens e da sua atmosfera.

3. Exploração dos planetas gasosos

As sondas Pioneer 10 e 11 foram as primeiras sondas enviadas para explorar os planetas gasosos, Júpiter e Saturno, seguidas pelas sondas Voyager 1 e 2. Essas sondas carregaram um total de onze instrumentos científicos.

As sondas Pioneer 10 e 11 encontraram Júpiter em 1973 e 1974, respectivamente. Elas enviaram as primeiras imagens desse planeta, permitindo visualizar o complexo movimento de sua estrutura atmosférica. Embora as imagens obtidas dos satélites galileanos (Io, Europa, Ganimede e Calisto) tivessem uma resolução superior às obtidas pelos telescópios, elas não foram suficientes para determinar detalhes de sua superfície. Entretanto, as imagens obtidas pelas sondas Voyager desvendaram o sistema de Júpiter. Os dados mostraram as superfícies dos satéli-

tes galileanos, destacando a estranhamente lisa superfície de Europa e os vulcões ativos de Io. Três novos satélites foram descobertos: Métis, Adrastea e Tebe. Esses satélites estão próximos ou imersos no sistema de anéis de Júpiter, outra grande descoberta das sondas. Após desvendar Júpiter, seus satélites e anéis, Voyager 1 e 2 partiram em direção a Saturno.

A sonda Galileo, lançada em 1989, foi a primeira missão a permanecer em órbita ao redor de Júpiter. Essa sonda entrou em órbita em 1995 e coletou dados do sistema até 2003. Primeiramente, a sonda Galileo tinha sido projetada para viajar diretamente a Júpiter em um tempo de 3,5anos, no entanto, devido a uma alteração, a sonda foi reprojeta para utilizar a técnica da gravidade assistida para chegar ao planeta. O módulo, acoplado à sonda, que foi lançado na atmosfera de Júpiter, tinha uma massa de aproximadamente 350kg e estava protegido do calor que seria gerado pelo atrito durante a sua entrada na atmosfera. A sonda Galileo enviou uma grande quantidade de dados coletados dos satélites e anéis antes do término de sua missão em 2003 quando esta foi lançada em direção ao planeta Júpiter.

A passagem da sonda New Horizon por Júpiter, em fevereiro de 2007, possibilitou a coleta de dados referente à sua atmosfera, aos tênues anéis de poeira e aos satélites galileanos. New Horizon foi a sonda mais rápida a chegar ao planeta, levando menos de um ano para percorrer aproximadamente as 4UA que separa



Figura 18: Mosaico formado por Júpiter e os quatro satélites galileanos

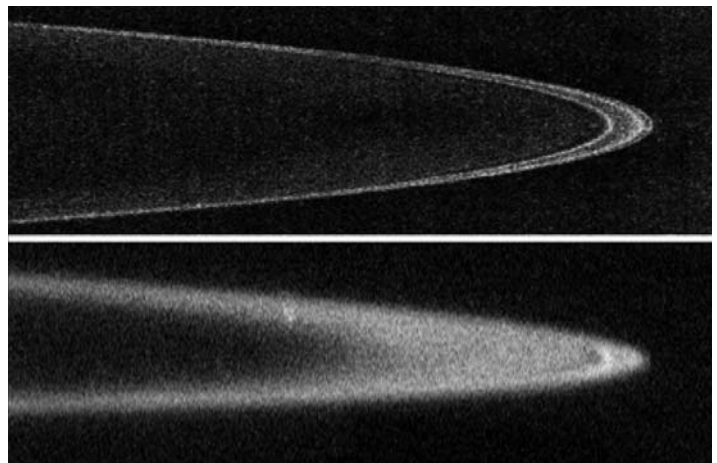
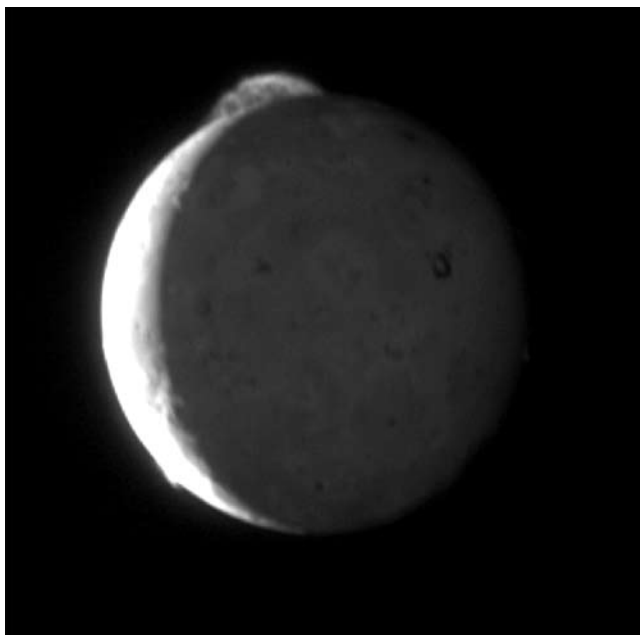


Figura 19: Imagens dos anéis de Júpiter obtidos pela sonda New Horizon

Figura 20: Erupção em Io obtida pela sonda New Horizon



JPL-NASA

nosso planeta de Júpiter. A superfície de Io, que possui vulcões ativos, pode ser fotografada pelas três sondas, Voyager, Galileo e a própria New Horizon. Uma comparação entre essas imagens mostrou a alteração na sua superfície causada pelos seus vulcões.

A grande distância entre o planeta Saturno e a Terra limitava as observações realizadas com os telescópios. Dos satélites de Saturno, somente Titã (2500km de diâmetro) podia ser visto como um disco, sendo que os outros satélites eram somente observados como pontos. A sonda Pioneer 11, a primeira a visitar Saturno em 1979, enviou dados do planeta, seus satélites e anéis. Dentre os dados obtidos os mais relevantes foram a descoberta do anel F e indícios da existência de vários satélites e anéis na região entre o anel F e o satélite Mimas, mais tarde confirmados pelas sondas Voyager.

As grandes descobertas do sistema de Saturno foram obtidas através dos dados enviados pelas sondas gêmeas Voyager 1 e 2, lançadas em 1977. As sondas Voyager se beneficiaram de um raro evento que ocorre entre os planetas gasosos (a cada 175 anos): o alinhamento. Esse alinhamento dos planetas permitiu às sondas realizarem “fly-bys” e coletar dados dos sistemas de Júpiter, Saturno (sondas Voyager 1 e 2), Urano e Netuno (Voyager 2). A sonda Voyager 2 foi lançada em agosto de 1977 antes da sonda Voyager 1, lançada em setembro do mesmo ano. A trajetória da sonda Voyager 1 foi projetada de forma a se aproximar do satélite Titã e dos anéis de Sa-

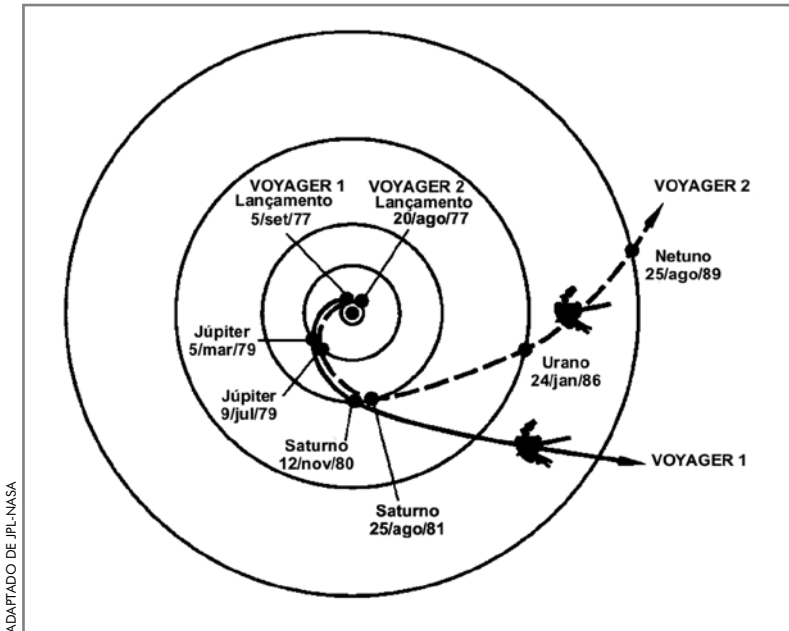


Figura 21:
Trajetória das sondas
Voyager 1 e 2

turno. Ao contrário, Voyager 2 foi projetada para passar por Saturno em tal posição que colocaria a sonda a caminho de Urano.

Quatro novos satélites foram observados pelas Voyager: Prometeu e Pandora que orbitam interiormente e exteriormente ao anel F, Atlas próximo à borda externa do anel A e Pan (descoberto indiretamente, a imagem desse satélite só foi obtida pela sonda Cassini) na mesma órbita que o anel central da Falha de Encke. Na Divisão de Cassini, que separa o anel A e B, anteriormente assumida como sendo uma região vazia, foram encontrados no mínimo cem anéis estreitos. Dentre as descobertas podemos citar a grande cratera (Herschel) encontrada na superfície de Mimas e a variação de brilho entre os dois hemisférios do satélite Iapetus, dados estes que confirmaram os anteriormente obtidos através dos telescópios.

Os dados enviados pelas Voyager continuam ainda sendo analisados. A sonda Voyager 1, após deixar Saturno, desligou suas câmeras, enquanto a Voyager 2 continuou sua viagem a caminho de Urano e Netuno. Atualmente as sondas gêmeas estão próximas à borda do nosso Sistema Solar e continuam enviando dados. As comunicações com a sonda somente serão interrompidas quando a fonte nuclear não mais fornecer energia.

Centenas de cientistas e engenheiros de vários países europeus e dos EUA estão envolvidos no projeto da missão Cassini-Huygens. A sonda Cassini construída pela NASA foi lançada em 1997 pelo foguete Titã IV-Centauro no Cabo

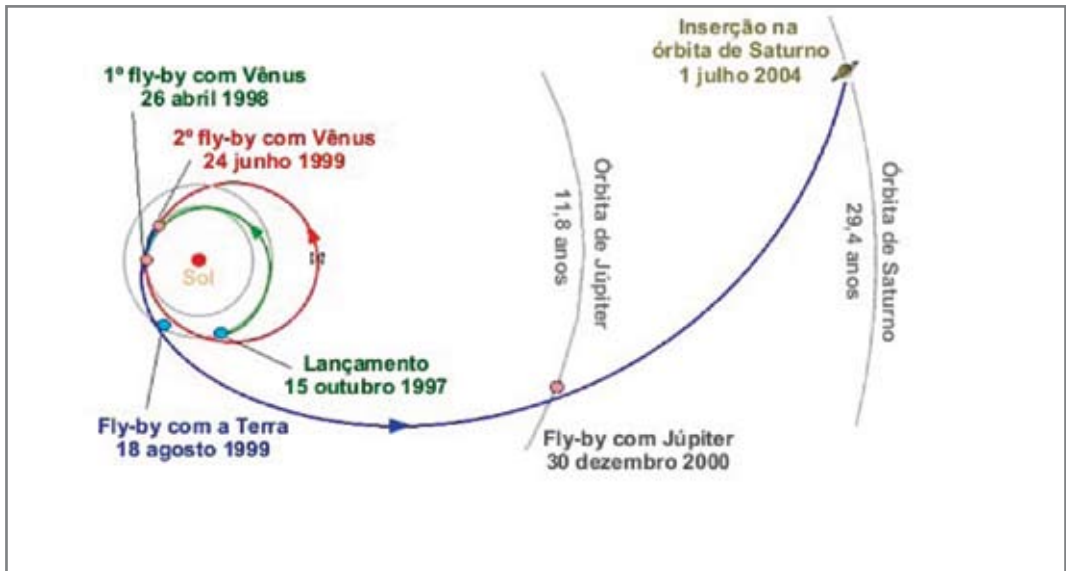
Canaveral, Flórida, chegando a Saturno em 2004. Dentre os objetivos dessa missão estão: procurar novos satélites e anéis, descobrir a fonte de calor em Saturno que produz mais energia do que recebe do Sol e as características peculiares de alguns satélites, como por exemplo, a superfície lisa de Encelado e o material escuro que cobre uma parte de Iapetus.

A sonda Cassini irá explorar o sistema de Saturno durante quatro anos realizando um total de 75 voltas ao redor do planeta. A sonda carrega equipamentos para realizar um total de doze experimentos científicos. Os dados obtidos estão sendo recebidos pelas estações da NASA (EUA), na Espanha e Austrália. A sonda Cassini realizou várias manobras de gravidade assistida para chegar a Saturno. A primeira manobra ocorreu em abril de 1998 em que a sonda trocou energia com Vênus. O próximo “loop” permitiu um segundo “fly-by” com Vênus em junho de 1999 e com a Terra em agosto de 1999. Depois desses três encontros a sonda teve energia suficiente para chegar a Júpiter em dezembro de 2000 e utilizando a gravidade assistida com o planeta Júpiter, Cassini chegou a seu destino, tornan-



Figura 22: Foto da sonda Cassini-Huygens

JPL-NASA



ADAPTADO DE IPL-NASA

Figura 23: Trajetória da sonda Cassini até chegar a seu destino, Saturno

do-se um satélite artificial de Saturno. Assim que chegou ao planeta em julho de 2004, a sonda começou a descer em direção à Saturno. Nesse exato momento, um dos mais cruciais da missão, o foguete acoplado à sonda foi reativado por aproximadamente 90 minutos no intuito de diminuir sua velocidade. Essa precisão na manobra permitiu colocar a sonda em órbita ao redor de Saturno.

Alguns dos dados que já foram obtidos durante esses anos em que a sonda está em órbita ao redor dos planeta são: a descoberta de vários satélites (Dafine, Palene, Polideuces, entre outros) e anéis (localizados na mesma órbita que os satélites Atlas e Palene, por exemplo), além de uma análise detalhada dos satélites maiores Titã e Encelado, sendo que em Encelado foi também descoberto ejeção de material, provável fonte do anel E. As novas informações a respeito dos anéis têm revolucionado o entendimento da dinâmica entre anéis e satélites, além de comprovar modelos teóricos que explicam essa interação dinâmica. O anel F, um dos mais intrigantes anéis do Sistema Solar, aparece em várias imagens desafiar os pesquisadores. Durante mais dois anos em que a sonda estiver orbitando Saturno, ela terá a oportunidade única de estudar o sistema de Saturno, podendo assim analisar a evolução das estruturas dos anéis planetários e as órbitas de seus satélites.

O enigmático satélite Titã de Saturno, descoberto em 1655 por C. Huygens, tem um diâmetro de 5000km, sendo maior que Mercúrio e Plutão. A sonda Huygens, nome dado em homenagem ao descobridor do satélite, chegou a Saturno

Figura 24: a) Surpreendente imagem mostrando a perturbação do satélite Prometeu arrancando partículas do anel F. Essa imagem comprova estudo teórico apresentado em 2000;



b) Ejeção de gases e partículas do satélite Encelados



Figura 25: Dunas em Titã, imagem de radar obtida pela sonda Cassini

acoplada à sonda Cassini. Huygens foi lançada em direção a Titã em dezembro de 2004 e em janeiro de 2005 entrou na atmosfera do satélite com a ajuda de pára-quedas, chegando ao solo aproximadamente duas horas e meia depois. Muitos cientistas acreditavam que Titã poderia ser coberto por oceanos de metano e etano, portanto a sonda foi construída para funcionar mesmo se pousasse em líquido.

Huygens estava equipada com seis instrumentos científicos, coletou dados e os armazenou em um computador a bordo da sonda Cassini. Esses dados, em conjunto com os obtidos até agora pela Cassini, revelaram dunas, canais e lagos de metano na superfície de Titã.

Depois do sucesso das sondas Voyager em Júpiter e Saturno, havia muita expectativa nos dados que seriam enviados pela sonda Voyager 2 a respeito dos

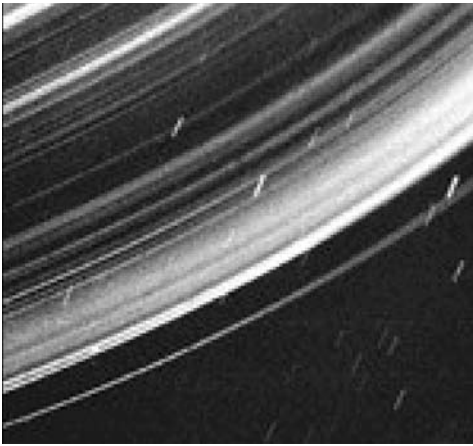


Figura 26: Sistemas de anéis de Urano. Imagem obtida pela sonda Voyager 2

JPL-NASA

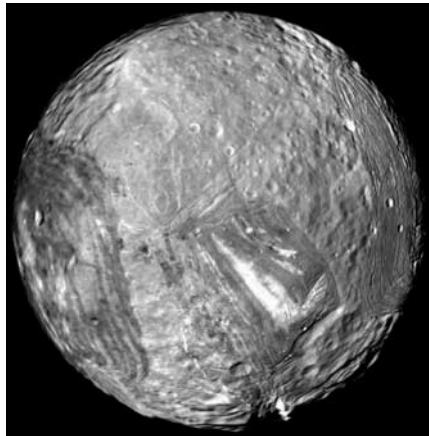


Figura 27: Superfície de Miranda. Imagem obtida pela sonda Voyager 2

JPL-NASA

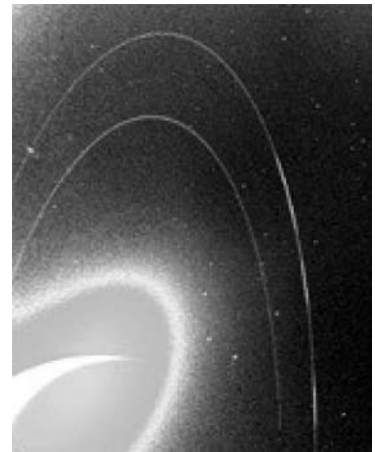


Figura 28: Anéis de Netuno. Imagem obtida pela sonda Voyager 2

JPL-NASA

sistemas planetários de Urano e Netuno. Confirmando essa expectativa, dez novos pequenos satélites foram descobertos em Urano, e também foi confirmado um sistema de anéis circundando o planeta, descoberto anteriormente em imagens tiradas aqui na Terra, por um telescópio a bordo de um avião. As imagens enviadas mostraram detalhes das superfícies dos satélites Titânia, Ariel e Miranda, com destaque para a espetacular superfície tortuosa de Miranda.

Em 1989, a sonda Voyager 2 encontrou Netuno, o último planeta a ser visitado por essa missão. Os dados enviados confirmaram que Netuno possui um sistema de anéis planetários e os arcos (descobertos através de observações daqui da Terra) são as partes mais densas do Anel Adams. Seis novos satélites foram descobertos, totalizando um conjunto de oito satélites conhecidos até então. A sonda Voyager 2 também detectou uma rarefeita atmosfera e alguns geisers em Tritão, o maior satélite de Netuno.

4. Cometas e asteróides

Alguns pesquisadores argumentam que os cometas e asteróides sofreram poucas alterações desde a origem do Sistema Solar (que os cientistas calculam em aproximadamente 5 bilhões de anos atrás) e, portanto, carregam uma grande quantidade de informação a respeito do início da formação planetária. Acredita-se que os planetas rochosos e os núcleos dos planetas gasosos se formaram através de pequenos corpos planetesimais, os quais eram similares aos asteróides e cometas.

As missões espaciais enviadas para observar o cometa Halley foram igualmente um grande avanço na era das sondas espaciais. Para otimizar o programa de observação do cometa, os EUA, a URSS, o Japão e a Europa formaram, em 1981, a “Inter-Agency Consultative Group for Space Science”. Cinco sondas encontraram o cometa Halley: Vega 1 e 2 (URSS), Suisei e Sakigake (Japão) e Giotto (Europa). Apesar da NASA não ter aprovado essa missão, foram redirecionadas a sonda ICE (“International Cometary Explorer”), e a Pioneer 7 lançada vinte anos antes, a fim de permitir a observação do cometa. As sondas Vega, lançadas em 1984, carregavam um total de 14 instrumentos científicos, entre eles: CCD (“charge-coupled-device”), espectrômetros, detectores de poeira e instrumentos para medição do plasma. Vega 1 e 2 obtiveram as primeiras imagens do núcleo do cometa, de formato irregular e ejetando poeira. Entre os dois encontros dessas

sondas, Suisei e Sakigate foram lançadas em direção ao Halley. Os dados obtidos revelaram que o brilho da “corona” varia com o tempo, sugerindo que partes da superfície do cometa estavam ativas enquanto outras não. A sonda Giotto, lançada em 1985, foi programada para aproximar-se o máximo possível do núcleo do cometa. Utilizando os dados obtidos pelas sondas posteriores e por observações realizadas aqui na Terra, foi possível redirecionar a sonda, obtendo a distância mínima de 600km entre a sonda e o cometa. As imagens do núcleo do cometa, obtidas pela Giotto, mostraram seu formato alongado, essencialmente escuro e com crateras.

A missão Stardust, lançada em 1999, foi a primeira missão dos EUA dedicada somente à exploração de um cometa. Essa sonda coletou poeira



JPL-NASA

Figura 29:

Essa imagem mostra a propriedade isolante do aerogel. Os lápis de cera estão totalmente protegidos do fogo



Figura 30: A cápsula, após a queda, preservou intacto o material coletado

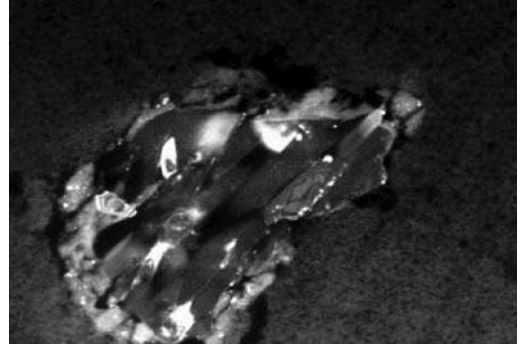


Figura 31: Amostra de uma partícula capturada pelo aerogel. Seu tamanho é de 2 micron-metros

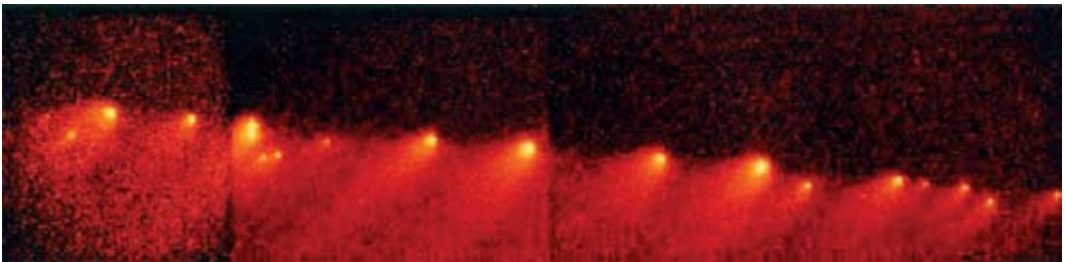


Figura 32: Imagem dos fragmentos do cometa Shoemaker Levy 9 obtida pela sonda Galileo

e gás do cometa Wild 2, além de poeira inter-estelar. Essas partículas de gás e poeira têm velocidade seis vezes superior à velocidade de um projétil. Para evitar que o choque entre as partículas e o coletor não alterasse a composição química ou formato dessas partículas foi utilizado um material denominado “aerogel”. Esse material tem a estrutura de uma esponja em que 99% de seu volume está vazio, possibilitando a coleta dessas partículas sem causar nenhum dano a elas.

Para possibilitar o encontro da sonda com o cometa foram necessárias três voltas ao redor do Sol, sendo que na segunda volta a sonda intersectou a trajetória do cometa. O material coletado ficou guardado na sonda até sua chegada à Terra em 2006, através de uma cápsula acoplada a um pára-quadras. Ainda em estudo, a próxima missão da sonda poderá ser o encontro com o cometa Tempel 1 em 2011 para coletar imagens de sua cratera já antes feita pela sonda Deep Impact.

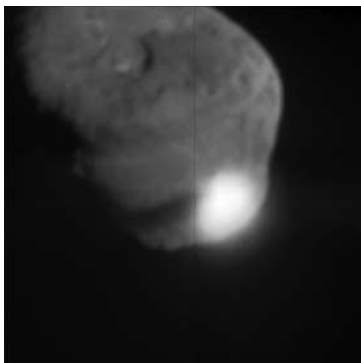
O cometa Shoemaker Levy 9 sofreu uma ruptura ao chegar próximo a Júpiter, e os fragmentos colidiram com o planeta em julho de 1992. A sonda Galileo, projetada para estudar o sistema de Júpiter, fotografou os fragmentos desse cometa durante e após o impacto com Júpiter.

A missão Contour (lançada em 2002) foi programada para encontrar os cometas Encke e Schwassman-Wachmann, mas o contato com essa sonda foi perdida no mesmo ano.

A missão Rosetta, parte do programa espacial europeu (ESA), lançada em 2004, tem como objetivo principal acompanhar o cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko desde o seu afélio até o periélio de sua órbita em 2015 e será a primeira sonda a pousar em um cometa. Como parte desta missão também serão explorados dois asteróides, 21 Lutetia e 2867 Steins, durante seu trajeto. Foram planejadas três gravidades assistidas com os planetas Terra e Marte para que a missão ganhe energia o suficiente para alcançar seu destino final. A sonda está equipada com onze instrumentos e uma sonda menor (denominada Philae) que pousará na superfície do cometa. Os dados obtidos serão enviados para a Terra através da sonda Rosetta, que estará orbitando o cometa.

A missão Deep Impact (lançada em 2005) estudou o cometa P/Tempel 1 antes e após o impacto. Essa missão consistiu de duas sondas: uma que chegou próxima ao cometa e outra, um projétil (que também enviou dados antes da explosão), que colidiu com o cometa criando uma cratera de 100m de largura e 30m de profundidade. Esse projétil operou independente da sonda, ou seja, após se soltar da Deep Impact, fez as manobras necessárias para chegar ao cometa. É importante

Figura 33: Impressão artística do lançamento da Philae em direção ao cometa



JPL-NASA



JPL-NASA

Figura 34: Momento do impacto com o cometa Tempel 1 visto pela sonda Deep Impact

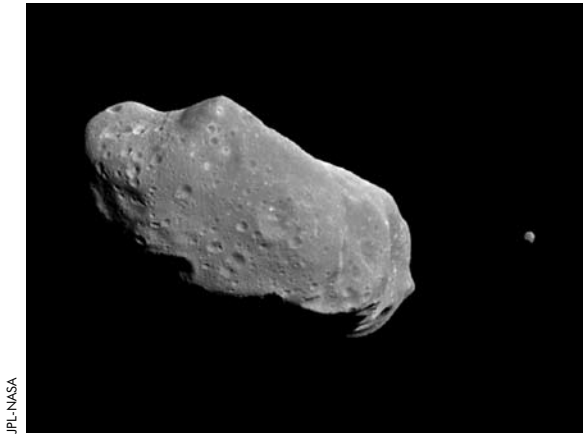


Figura 35: O asteróide Ida e seu satélite Dactyl

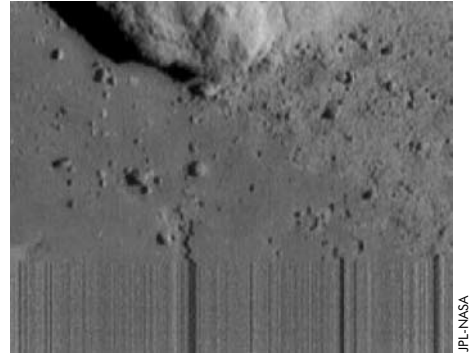


Figura 36: A sonda está a 120m acima da superfície do asteróide Eros

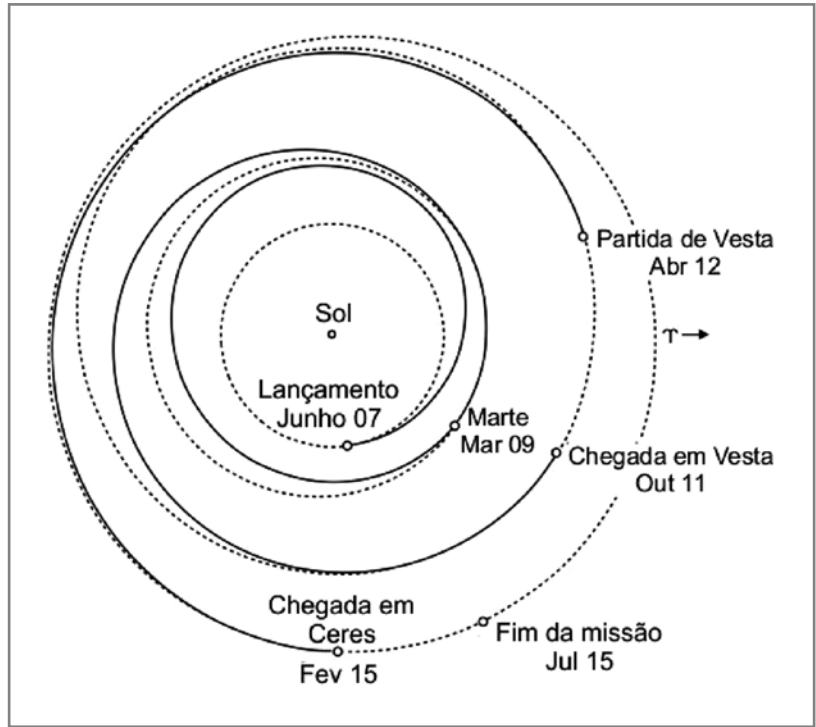
ressaltar que o projétil não teve massa suficiente para alterar o caminho orbital do cometa. Os instrumentos da sonda analisarão o material expelido pelo cometa e o interior deste, que ficou exposto após a explosão.

A missão CRAF (“Comet Rendezvous Asteroid Flyby”), lançada em 1995, irá explorar o cometa Kopff e o asteróide Hamburga. Ela determinará a composição do material cometário além de estudar a química da atmosfera do cometa. As propriedades físicas, incluindo o formato, período de rotação e a morfologia da superfície do asteróide também serão avaliadas.

O primeiro asteróide a ser descoberto foi Ceres, com um raio de aproximadamente 500km. A maioria dos asteróides tem tamanho inferior a 1km. Em 1991, a sonda Galileo, encontrou o asteróide Gaspra (12km de diâmetro) a uma distância de aproximadamente 1500km. Foi a primeira vez que uma sonda enviou dados e imagens de um asteróide. Dentre os resultados, o mais importante foi confirmar aqueles obtidos através de observações realizadas aqui da Terra, em relação ao seu formato, tamanho e albedo. A sonda Galileo também encontrou o asteróide Ida, em 1994, revelando que Ida tem um satélite denominado Dactyl, orbitando ao seu redor.

A sonda NEAR Shoemaker (“Near Earth Asteroid Rendezvous”) representa a nova política de missões planetárias adotada pela NASA. A sonda enviou dados dos asteróides Mathilde (em 1997) e Eros (em 1999), permitindo o reconhecimento de um asteróide do tipo C (Mathilde) e as primeiras informações de um “Near Earth Asteroid” (Eros). Essa missão foi a primeira a pousar em um asteróide.

Figura 37:
Trajetória da sonda Dawn



A missão Dawn irá explorar em detalhes dois asteróides, Ceres e Vesta. Esses dois asteróides provavelmente permaneceram intactos desde a sua formação e portanto podem trazer informações a respeito do início do Sistema Solar. O final dessa missão está previsto para 2011.

5. O sistema binário Plutão-Caronte

Atualmente Plutão é classificado pela União Astronômica Internacional como um planeta anão. A alteração do “status” de planeta à planeta-anão se deve à definição atual de planeta: planeta é um corpo em órbita ao redor do Sol, com formato quase esférico e que devido a sua força gravitacional não permitiu a formação ou a estabilidade de outros corpos ao redor de sua vizinhança. Esse corpo distante, Plutão, que é um planeta-anão pois não satisfaz a terceira definição de planeta, foi descoberto em 1930 pelo astrônomo C. Tombaugh. Somente em 1978 Caronte, seu satélite, foi descoberto pelos astrônomo J. Christy e R. Harrington. Devido a Caronte ter uma massa próxima à massa de Plutão (a massa de Caronte dividida pela massa de Plutão é 0,1165) esse sistema é considerado um sistema bi-

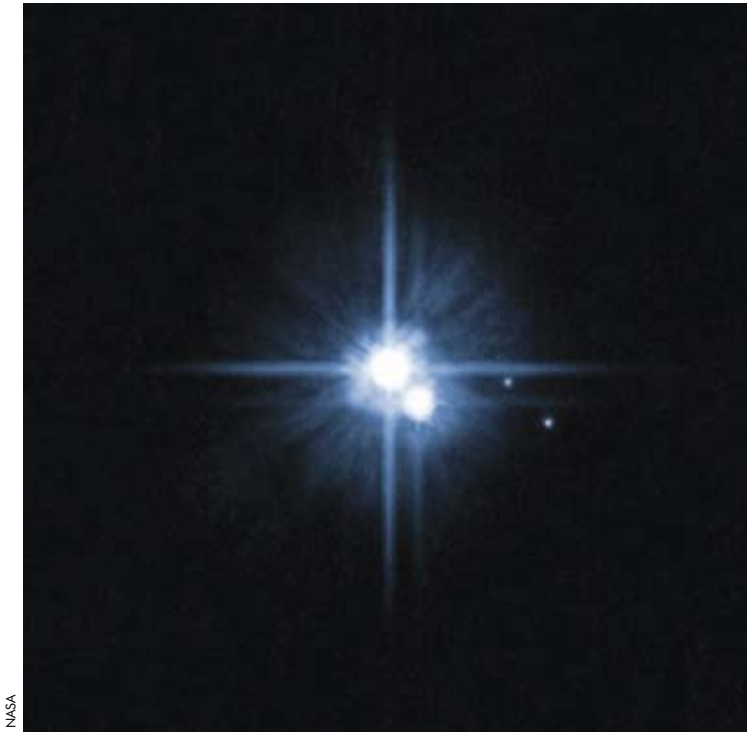
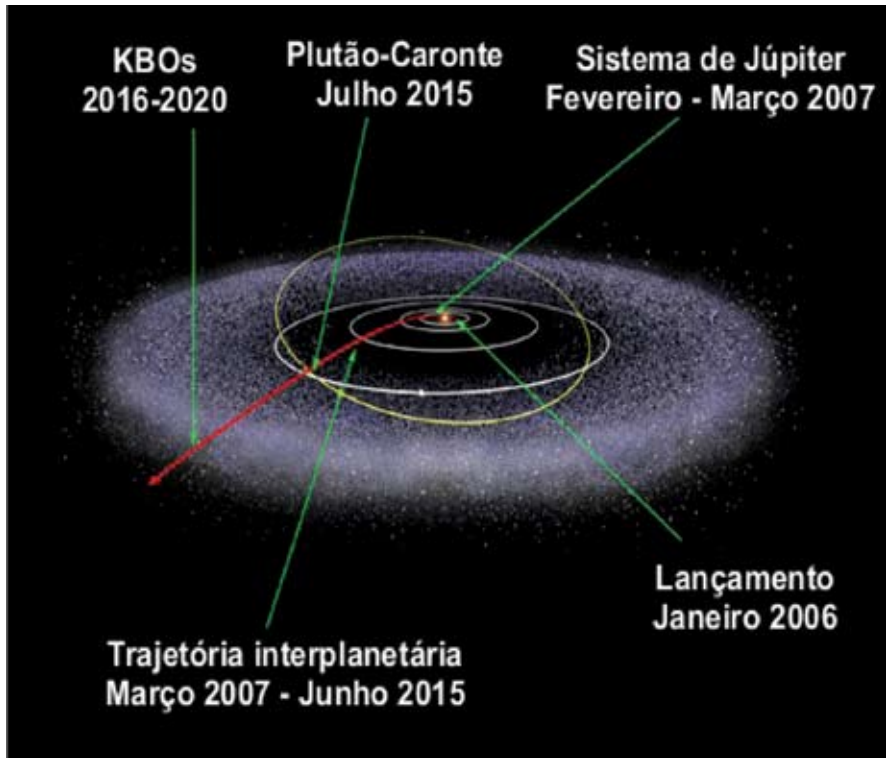


Figura 38: Plutão e Caronte, no centro, e os satélites recém descobertos, Nix e Hidra. Imagem obtida pelo telescópio espacial Hubble

nário. Além disso, Caronte está próximo a Plutão, localizado a aproximadamente 19750km do centro de Plutão. No início de 2006 dois novos satélites foram descobertos, Nix e Hidra, orbitando ao redor do centro de massa do sistema Plutão-Caronte. Esse sistema que nunca foi visitado por uma sonda espacial receberá a visita da sonda New Horizon em 2015.

A sonda New Horizon, lançada em 2006, passou pelo planeta Júpiter em fevereiro de 2007. Através de uma manobra em Júpiter a sonda chegará a Plutão em 2015. Seu destino final será o Cinturão de Kuiper em 2016. O Cinturão de Kuiper, localizado após o planeta Netuno, a aproximadamente 45UA do Sol, tem uma população de pequenos corpos que somente começaram a ser detectados pelos potentes telescópios em 1992.

Durante esses anos de viagem da New Horizon, após o encontro da sonda com Júpiter, serão testados os equipamentos da sonda e os instrumentos de calibração. A sonda não irá orbitar Plutão. Toda a informação a respeito do sistema binário poderá ser obtida a partir de cinco meses antes do encontro, que será no dia 14 de julho de 2015, e até nove meses depois. Durante o encontro, a sonda estará a menos de 10000km de Plutão. Dentre os objetivos da missão estão mapear



ADAPTADO DE NASA

Figura 39: A trajetória da sonda New Horizon

a superfície de Plutão e Caronte, pesquisar a existência de novos satélites e possíveis anéis e estudar a atmosfera de Plutão.

Após essa data (2016) a sonda irá estender sua missão, está sendo programado o encontro com dois corpos localizados no Cinturão de Kuiper.

6. Futura exploração do sistema solar

O que esperar da exploração do Sistema Solar no futuro? Pensando nisso um grupo de pesquisadores de vários países, inclusive do Brasil, apresentaram propostas, publicadas no livro “The Future of the Solar System Exploration, 2003-2013” (M. Sykes, editor), com o intuito de otimizar e viabilizar a exploração dos corpos do Sistema Solar. Cada grupo da comunidade científica, coordenado por um pesquisador, ficou encarregado de discutir e elaborar uma lista de prioridades que definirá o envio de uma sonda espacial. Recomendações e trajetórias otimizadas que permitirão à sonda chegar ao seu destino também foram incluídas

nesse documento. Essa exploração deverá ser realizada em cada sistema planetário, nos asteróides e cometas e na região externa do Sistema Solar, a região onde está localizado o Cinturão de Kuiper. Esse estudo foi publicado em 2002. A discussão não foi somente baseada na necessidade do envio de sondas espaciais, mas também na manutenção e aprimoramento dos telescópios e no aprimoramento das órbitas dos corpos celestes. Dentre as prioridades estabelecidas podem ser citadas a necessidade de uma exploração detalhada do sistema de Netuno, das partículas que compõem os anéis planetários (nenhuma partícula ainda foi visualizada por uma sonda), das atmosferas planetárias e de alguns satélites, em particular os satélites Io e Europa de Júpiter e o satélite Titã de Saturno.

Os dados obtidos pelos telescópios e pelas sondas espaciais são muitos, para se ter uma idéia dessa quantidade, existem dados obtidos pelas sondas Voyager, que passou por Saturno em 1980-1981, que não ainda não foram analisados. Vários fatores favorecem essa situação, a grande quantidade de dados, a falta de profissionais adequados a esse tipo de trabalho e a dificuldade encontrada na análise desses dados. No entanto o Brasil já está começando a fazer parte dessa comunidade, conquista obtida através de interações com pesquisadores de universidades e institutos de pesquisas no exterior.



