

MEMÓRIAS DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA

CLASSE DE CIÊNCIAS

TOMO XLVII
Volume 1

**Conhecimento do Universo
Procura de Vida Extraterrestre**

JOSÉ JOAQUIM PEREIRA OSÓRIO



ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA

LISBOA • 2020

Conhecimento do Universo

Procura de Vida Extraterrestre

JOSÉ JOAQUIM PEREIRA OSÓRIO¹

RESUMO

Nesta comunicação será dada particular atenção a um domínio atualmente em grande desenvolvimento, a procura e a localização de planetas de outras estrelas, que não o nosso Sol, ou seja, eventuais planetas fora do Sistema Solar, **Exoplanetas**. Para isso, face à novidade deste domínio nas investigações sobre o Universo, será oportuno começar a apresentação com uma breve referência histórica à evolução do conhecimento da estrutura do Universo e do que hoje é mais aceite, depois dos grandes avanços tecnológicos das últimas décadas. Neste contexto, será ainda abordado o tema da eventual existência de vida noutras estruturas, tanto dentro como fora do Sistema Solar.

ABSTRACT

In this communication attention will be given to a subject in great development, the search and location of planets in stars other than our Sun, this is to say, possible planets outside the Solar System, **Exoplanets**. For this, by taking into account how recent is this field in research regarding the Universe, we will start by a brief historical summary of our knowledge about Universe structure and what is now well accepted after the great technological advances from the last decades. The final part of the presentation will be devoted to the eventual existence of life, both inside as well as outside the Solar System.

1. INTRODUÇÃO

A procura de planetas orbitando outras estrelas mais ou menos afastadas do Sol (**Exoplanetas**) é um domínio que muito se tem desenvolvido nos últimos anos, principalmente após a descoberta do primeiro em 1995. O objetivo principal é encontrar planetas semelhantes à Terra e que possam apresentar condições próprias para a existência de vida. Para isso, são utilizadas tanto observações terrestres como missões espaciais particularmente dedicadas.

Nesta comunicação será feito, inicialmente, um pequeno resumo da evolução do conhecimento do Universo até à colocação em órbita do primeiro Satélite da Terra, o que veio permitir o desenvolvimento de muitas e poderosas técnicas que trouxeram um rápido avanço neste domínio. Serão apresentados os modelos mais aceites na atualidade para a estrutura não só da Galáxia mas também de todo o Universo. Finalmente, serão apresentados e descritos os métodos desenvolvidos para a deteção de Exoplanetas e

¹ Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências/Universidade do Porto (jposorio@fc.up.pt)

os resultados obtidos até agora tanto no número de objetos descobertos e sua localização relativamente à Estrela como algumas das suas possíveis características.

2. EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO DO UNIVERSO

Embora o interesse no conhecimento científico do Universo remonte já à antiguidade, para o objetivo desta apresentação serão apenas recordados aqui os nomes mais significativos e as respetivas contribuições a partir do final do século XV.

Nicolau Copérnico (1473-1543), natural da Prússia, foi o astrónomo e matemático que recuperou, definitivamente, dos antigos gregos, a ideia do **Sistema Heliocêntrico**. Baseado nas medições de Hiparco e Ptolomeu, Copérnico apresentou o novo sistema no seu livro *As Revoluções dos Orbes Celestes* (1543). A Biblioteca Pública Municipal da cidade do Porto conserva duas raras edições quinhentistas desse livro.

Pedro Nunes (1502-1578), considerado um dos mais importantes matemáticos do século XVI, foi professor de Matemática e Astronomia, na universidade, cosmógrafo e, mais tarde, nomeado cosmógrafo-mor do Reino. Publicou, em 1537, vários textos de Astronomia. Posteriormente, no seu livro *De Crepusculis*, entre diferentes soluções para problemas astronómicos e matemáticos apresentou um pequeno instrumento para medir frações de grau que, em sua honra, ficou conhecido por **nónio**. Pedro Nunes terá sabido das ideias de Copérnico, mas apenas lhe fez uma pequena referência.

Tycho Brahe (1546-1601), astrónomo dinamarquês, era detentor do mais bem montado observatório da sua época. Descobriu uma Supernova em 1572, observou o grande cometa (1577) durante 74 dias, e realizou observações muito precisas das órbitas planetárias.

Galileu Galilei (1564-1642) foi matemático, astrónomo e inventor. Em 1609 construiu um telescópio com o qual realizou observações astronómicas que lhe permitiram importantes descobertas:

- A Via Láctea era constituída por uma infinidade de estrelas;
- 4 satélites de Júpiter;
- Montanhas da Lua;
- Manchas solares;
- Fases de Vénus.

A observação sistemática dos satélites de Júpiter, levaram-no a defender o **sistema heliocêntrico de Copérnico**.

Johannes Kepler (1571-1630) publicou, em 1609, uma das suas obras fundamentais, *Astronomia Nova*, como resultado das observações do planeta Marte. Reconhecendo variações dos movimentos de Marte e estudando os trabalhos de Brahe, chegou a uma conclusão que rompia com ideias até aí bem aceites: os movimentos dos planetas são elípticos e não, como se imaginava, circulares. Duas das três leis, que passaram a ser conhecidas pelo seu nome, foram publicadas em *Astronomia Nova*. A terceira encontra-se no livro *Harmonia do Mundo*, obra que, cinquenta anos depois, permitiu a Newton formular a lei da Gravitação Universal.

Isaac Newton (1643-1727) estabeleceu as três Leis que são hoje a base da Mecânica Newtoniana. Com base nelas fez a descrição quantitativa das órbitas dos corpos celestes e a formulação analítica das Leis de Kepler. Ao interessar-se por observações astronómicas, concluiu que um Telescópio Refrator, com

lentes, como Galileu havia utilizado, sofreria inevitavelmente de aberração cromática; resolveu esse problema desenvolvendo o Telescópio Reflector com a utilização de espelhos.

Edmond Halley (1656-1742) utilizou as leis de Newton para calcular órbitas de cometas. Descobriu que os cometas observados em 1531, 1607 e 1682 tinham órbitas muito similares, concluindo que esses e outros cometas não eram objetos novos, mas sim objetos que regressavam às regiões interiores do Sistema Solar. Assim, foi capaz de prever que no ano de 1758, após 76 anos da última aparição, um cometa cruzaria o Sistema Solar, o qual, em sua homenagem, passou a ser chamado Cometa Halley.

Edwin Powell Hubble (1889-1953) foi para Oxford estudar Direito, mas abandonou a advocacia em 1914 para integrar o grupo do Observatório Astronômico de Yerkes. Após a Primeira Guerra Mundial, em 1919, passou para o Observatório de Monte Wilson (1919-1953), em Washington. Com a descoberta de uma *cefeida*, estrela de luminosidade variável, em 1923, provou a existência de nebulosas extragalácticas. Usando um Telescópio de 100 polegadas de diâmetro, reconheceu, não só que havia um universo de galáxias, mas que o Universo estava em expansão, ao verificar que a velocidade de uma em relação a outra era proporcional à distância entre elas (Figura 1). A constante de proporcionalidade foi designada por *constante de Hubble* (1929). Até esta sua descoberta o Universo era considerado estático e restrito aos limites da Via Láctea.



Figura 1.
Galáxia

Observando as Galáxias, reconheceu-lhes diferentes formas, o que conduziu ao chamado diagrama de Hubble, com forma de diapasão, publicado em 1936 no seu *Realm of the Nebulae* (Figura 2).

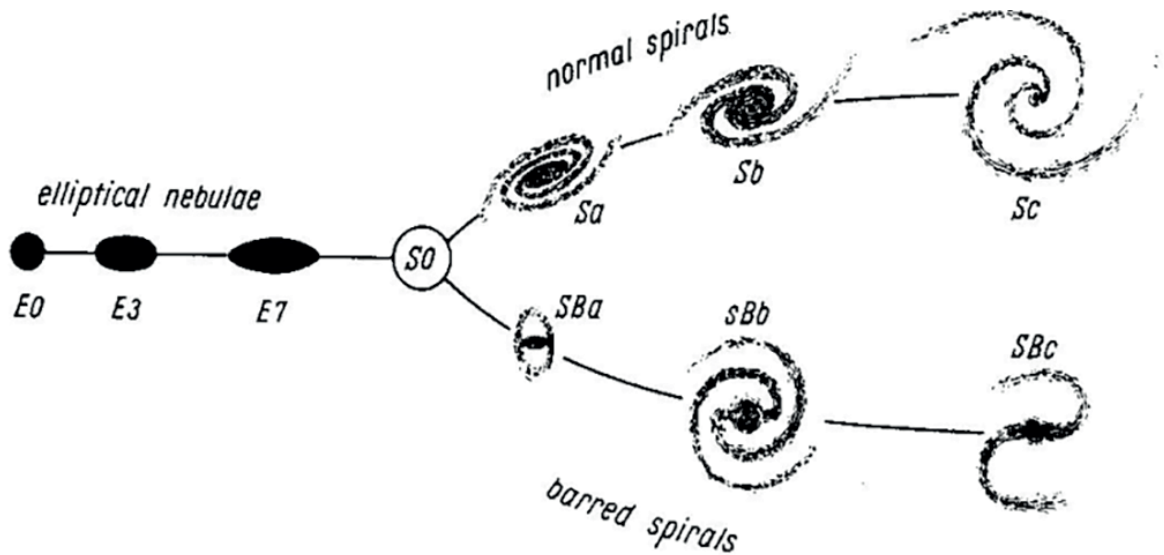


Figura 2.
Diagrama de Hubble

Em 1929, dois anos depois de Georges Lemaître ter proposto a teoria do *Big Bang*, Edwin Hubble mediu os desvios para o vermelho das riscas espectrais de um certo número de galáxias distantes. Mediu também as suas distâncias relativas através da grandeza aparente de uma Classe de Estrelas Variáveis Cefeidas em cada galáxia. Quando representou esses valores dos desvios para o vermelho relativamente às distâncias, ele reconheceu que os desvios para o vermelho das galáxias distantes aumentavam com a sua distância (Figura 3). A única explicação possível era que o Universo estava em expansão (**Expansão do Universo**).

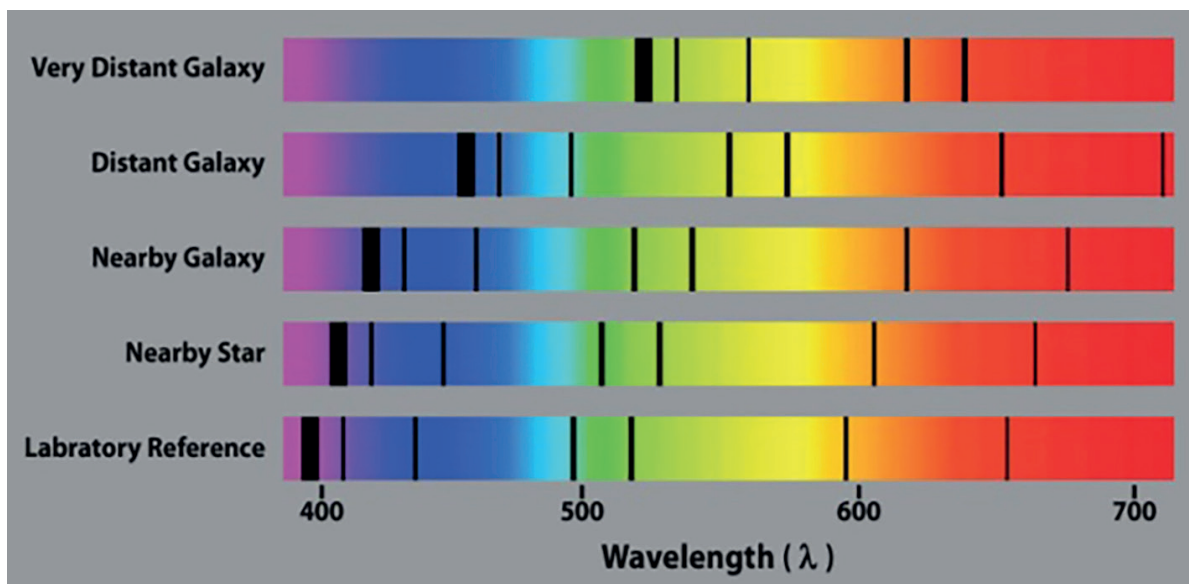


Figura 3.
Desvio para o vermelho

Georges Lemaître (1894-1966), padre e cosmólogo belga, recorrendo à Teoria da Relatividade Geral, obteve resultados que indicavam que o Universo está em expansão, em todas as direções, com as galáxias afastando-se umas das outras (Figura 4). Daqui concluiu que essa expansão teria sido iniciada a partir de um ponto onde toda a matéria estaria concentrada, ponto a que deu o nome de Átomo Primordial.

O termo *Big Bang* foi dado pejorativamente por Fred Hoyle, astrónomo britânico que apoiava outro modelo cosmológico designado Universo estacionário.

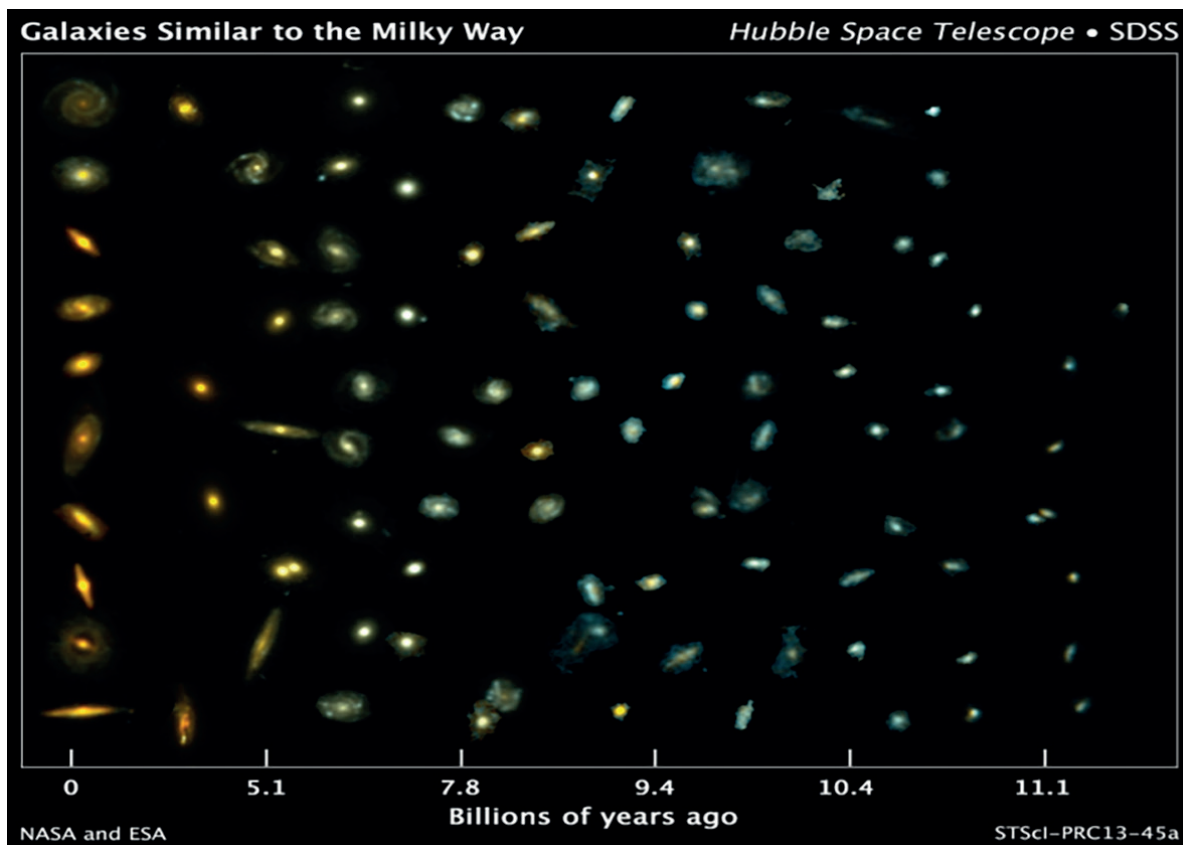


Figura 4.
Expansão do Universo

Albert Einstein (1879-1955), Prémio Nobel da Física em 1921, publicou em 1905 a **Teoria da Relatividade Restrita**. Aplicou esta teoria a campos gravitacionais e, em 1916, um ano antes de publicar a **Teoria da Relatividade Geral**, previu a existência de ondas gravitacionais produzidas por corpos maciços em movimento acelerado; essas ondas teriam, em geral, pequena amplitude. Einstein acreditava que essas ondas não seriam detetáveis ou só o seriam como resultado de cataclismos no Universo, como, por exemplo, a união de dois Buracos Negros ou o choque de Galáxias. Procuradas há cerca de 50 anos, essas ondas foram, finalmente, detetadas nos finais de 2015, como resultado da união de dois Buracos Negros. Para a propagação da luz, a Teoria de Einstein fez uma previsão clara: A luz sofre um desvio por efeito da gravidade (Figura 5).

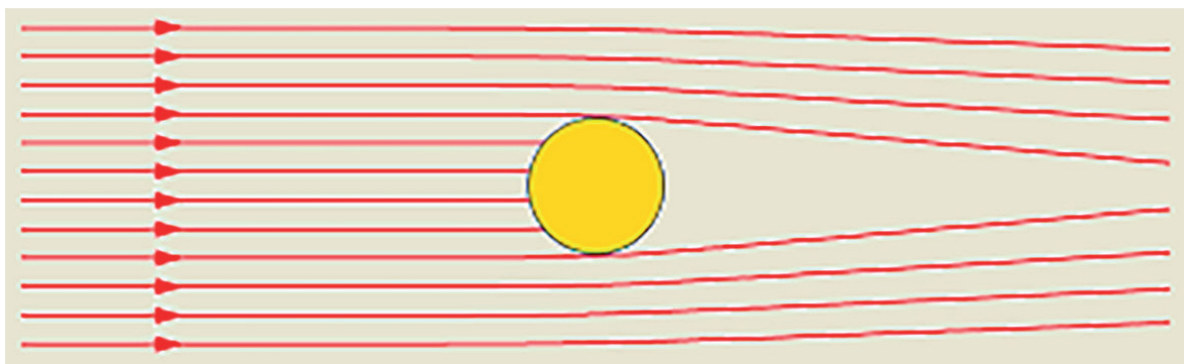


Figura 5.
Desvio da Luz

Uma importante aplicação deste desvio são as chamadas Lentes Gravitacionais: massas configuradas de uma maneira para que os astrónomos possam observar duas ou mais imagens de um e um mesmo objeto distante no céu noturno.

A Figura 6 mostra um exemplo famoso. Não são quatro objetos formando uma cruz em volta do centro: são quatro imagens de um mesmo Quasar, a 8 mil milhões de anos-luz, provocadas por uma Galáxia a 400 milhões de anos-luz.



Figura 6.
Imagens de um mesmo Quasar

Ver-se-á mais adiante que este processo das Lentes Gravitacionais tem sido um dos métodos utilizados para a descoberta de **Exoplanetas**, sobretudo os mais distantes.

Antes do advento da era espacial, os dados de observação no domínio ótico eram obtidos com recurso a grandes telescópios tanto refratores (Figura 7) como reflectores (Figura 8).

Name/Observatory	Location	Lens diameter	Focal length	Built	Comments	Image
James Lick telescope <u>Lick Observatory</u>	Mount Hamilton, California, USA	91 cm (36")	17.6 m	1888		
Yerkes Observatory ^[6]	Williams Bay, Wisconsin, USA	102 cm (40")	19.4 m (62')	1897	Largest in current operation. ^[7]	
William Thaw Telescope Allegheny Observatory	Pittsburgh, Pennsylvania, USA	76 cm (30")	14.1 m	1914	Brashear made, photographic ^[8]	

Figura 7

Grandes telescópios refratores nos finais do século XIX e a na primeira metade do século XX

Name	Image	Aperture	Mirror type	Nationality / Sponsors	Site	Built
Hooker 100-Inch Telescope		2.54 m (100 in)	Single	USA	Mt. Wilson Observatory, California, USA	1917
Otto Struve Telescope		2.08 m (81.9 in)	Single	USA	McDonald Observatory, Texas, USA	1939

Name	Image	Effective aperture m	Aper. in	Mirror type	Nationality / Sponsors	Site	Built
Hale Telescope (200 inch)		5.08 m	200"	Single	USA	Palomar Observatory, California, USA	1948

Figura 8.

Grandes telescópios refletores nos finais do século XIX e a na primeira metade do século XX

A Radioastronomia começou a desenvolver-se na década que se seguiu à II Guerra Mundial. O Radiotelescópio Lovell no Observatório de Jodrell Bank, Inglaterra, foi construído entre 1952 e 1957. Era o maior radiotelescópio daquela época (Figura 9).



Figura 9.

Radiotelescópio Lovell no Observatório de Jodrell Bank

3. CONHECIMENTO ATUAL DO UNIVERSO

3.1 Missões Espaciais Tripuladas – Lua

É usual considerar a ERA ESPACIAL com início em 4 de Outubro de 1957 quando o satélite Russo *Sputnik 1* foi o primeiro satélite artificial a ser colocado numa órbita terrestre. Alguns meses depois, a 31 de Janeiro de 1958, foi para o espaço o primeiro satélite Americano, *Explorer I*. Em 12 de Abril de 1961, o cosmonauta Russo, Yuri Gagarin, tornou-se o primeiro homem a orbitar a Terra, a bordo da sonda *Vostok 1*. O primeiro Homem a atingir um outro corpo celeste, naturalmente a Lua, foi o astronauta americano Neil Armstrong, a 20 de Julho de 1969, no âmbito do *Programa Apollo* (Apollo 11). Seguiram-se mais algumas missões tripuladas que permitiram obter resultados importantes sobre o nosso satélite natural (Figura 10).

Na Figura 10, o Comandante Charles Conrad examina a cápsula *Surveyor 3* durante a sua segunda atividade no solo Lunar, a 20 de Novembro de 1969.

Várias outras missões, tanto tripuladas, no princípio da década de 70 do século passado, como não tripuladas (robots), até aos nossos dias, continuaram a explorar, pormenorizadamente, o nosso Satélite Natural. Até agora **não foram reconhecidas quaisquer evidências que pudessem sugerir a existência de sinais de vida**; porém, aceita-se que Lua poderá vir a ser lugar para futura colonização dos humanos. Embora, presentemente, não haja planos para isso, vem-se assistindo nos últimos anos ao retomar do interesse pela investigação da Lua.

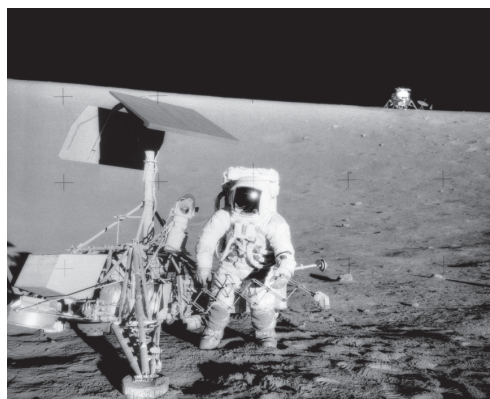


Figura 10
O Comandante Charles Conrad Jr.

3.2 Sistema Solar

3.2.1 Mercúrio

Missões espaciais dedicadas ao planeta Mercúrio (Figura 11), onde está já incluída a sonda *BepiColombo* a ser colocada em órbita apenas no próximo ano, 2018.

Sem atmosfera e com temperaturas diurnas da ordem de 430°C e noturnas de -180°C, Mercúrio (Figura 12) **não tem condições** para uma eventual existência de vida.



Figura 11.
Missões Espaciais a Mercúrio

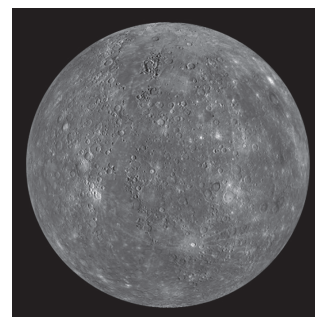


Figura 12.
Mercúrio

3.2.2 Vénus

As sondas espaciais que têm sido enviadas para a superfície de Vénus (Figura 13) não duram muito tempo. A elevada temperatura da superfície sobreaquece a eletrónica da sonda muito rapidamente; por isso, será **improvável que um ser humano tenha condições para sobreviver na superfície de Vénus** (Figura 14). Há alguma especulação sobre a possibilidade de ter existido vida em Vénus num passado distante, assim como vida nas camadas mais altas da atmosfera, onde as temperaturas são menos extremas.

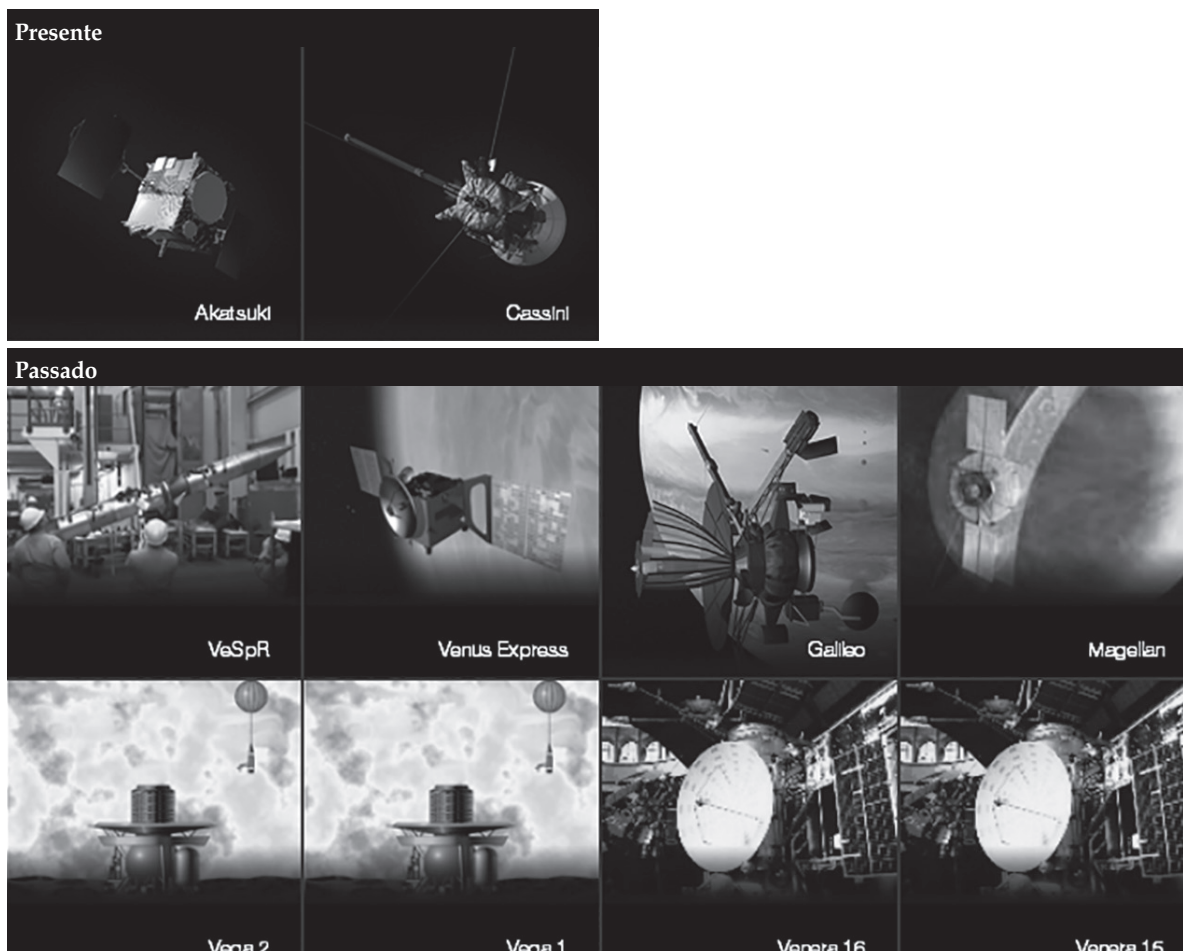


Figura 13.
Missões Espaciais a Vénus

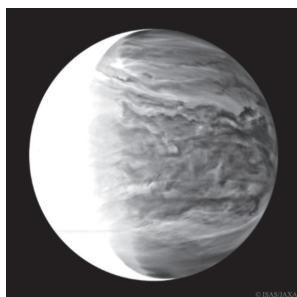


Figura 14.
Vénus

3.2.3 Marte

Estudos recentes revelam que micróbios, que estão entre os mais simples e os mais antigos organismos na Terra, poderiam sobreviver na extremamente fina camada de ar de Marte. A superfície de Marte é, presentemente, fria e seca, mas há uma grande evidência que sugere que rios, lagos e mares cobriram o chamado Planeta Vermelho há milhares de milhões de anos.

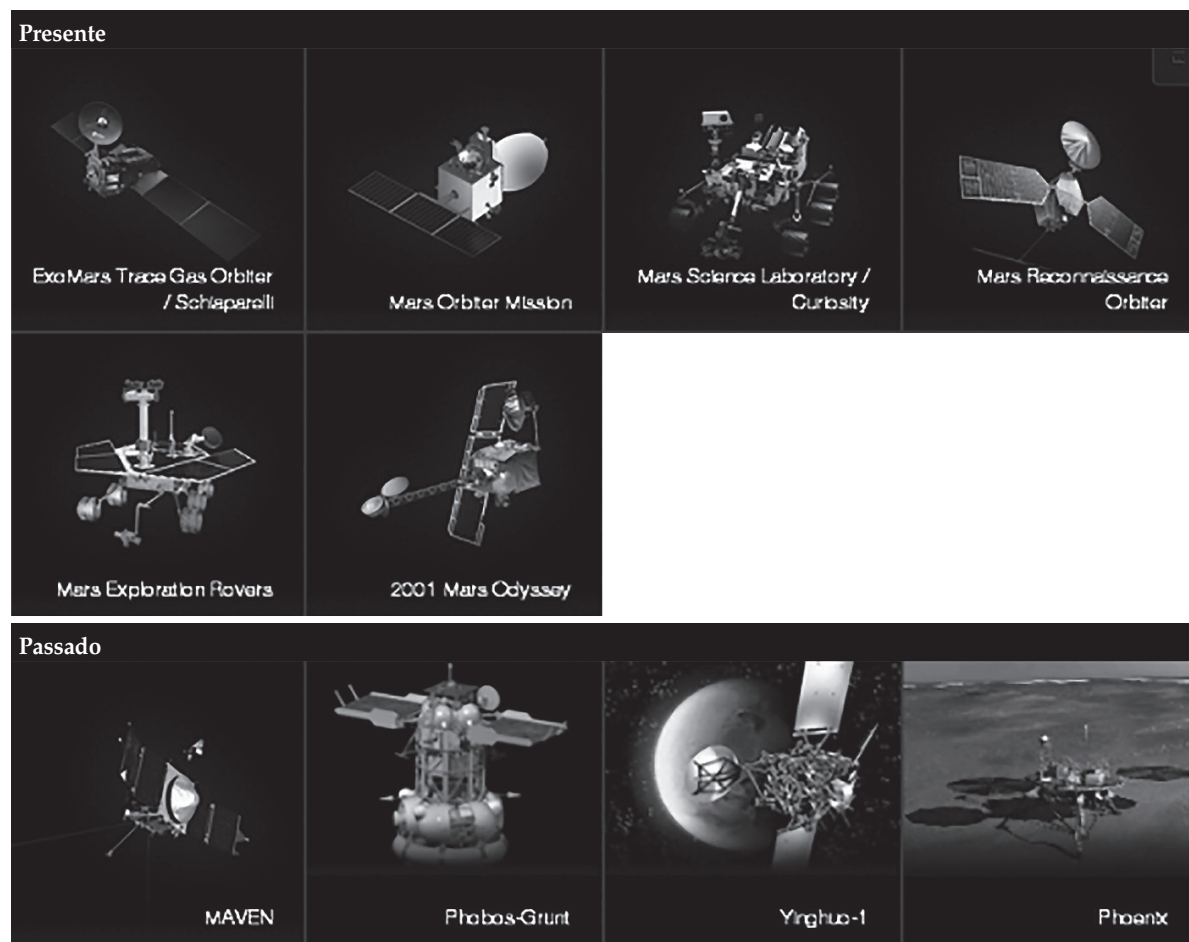


Figura 15.
Missões Espaciais a Marte

A rocha marciana *Harrison* (Figura 16) mostrando imagens de misturas de cristais obtidas pelas duas câmaras do *rover* NASA's *Curiosity Mars* para fornecer as cores e os pormenores microscópicos.

Como, na Terra, virtualmente, poderá existir vida em todos os lugares em que há água líquida, os cientistas sugerem que a **vida poderá ter evoluído em Marte** quando o Planeta era húmido e que, portanto, **poderá haver vida mesmo agora**.

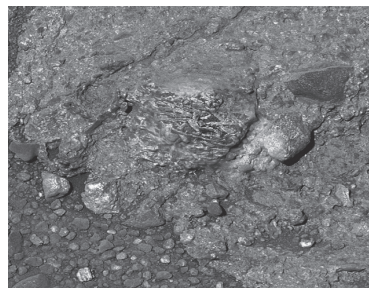


Figura 16.
Rocha em Marte

3.2.4 Júpiter

O ambiente de Júpiter não é, provavelmente, favorável a formas de vida como a conhecemos. As temperaturas e pressões que caracterizam este planeta são, muito possivelmente, extremas e os materiais voláteis para que os organismos se possam adaptar.

Enquanto o Planeta Júpiter é um lugar improvável para a existência de vida, o mesmo não acontece com alguns dos seus muitos satélites. Por exemplo, o satélite **Europa**, é um dos lugares **mais prováveis** para encontrar vida no Sistema Solar. Há evidência de um vasto oceano por baixo da sua crosta gelada em que a vida poderá, eventualmente, ser preservada.

A missão *JUNO* (Figura 17) partiu em 2011, chegou a Júpiter em 2016, com o objetivo exclusivo de estudar o Planeta. Até agora realizou 5 das 37 órbitas previstas.

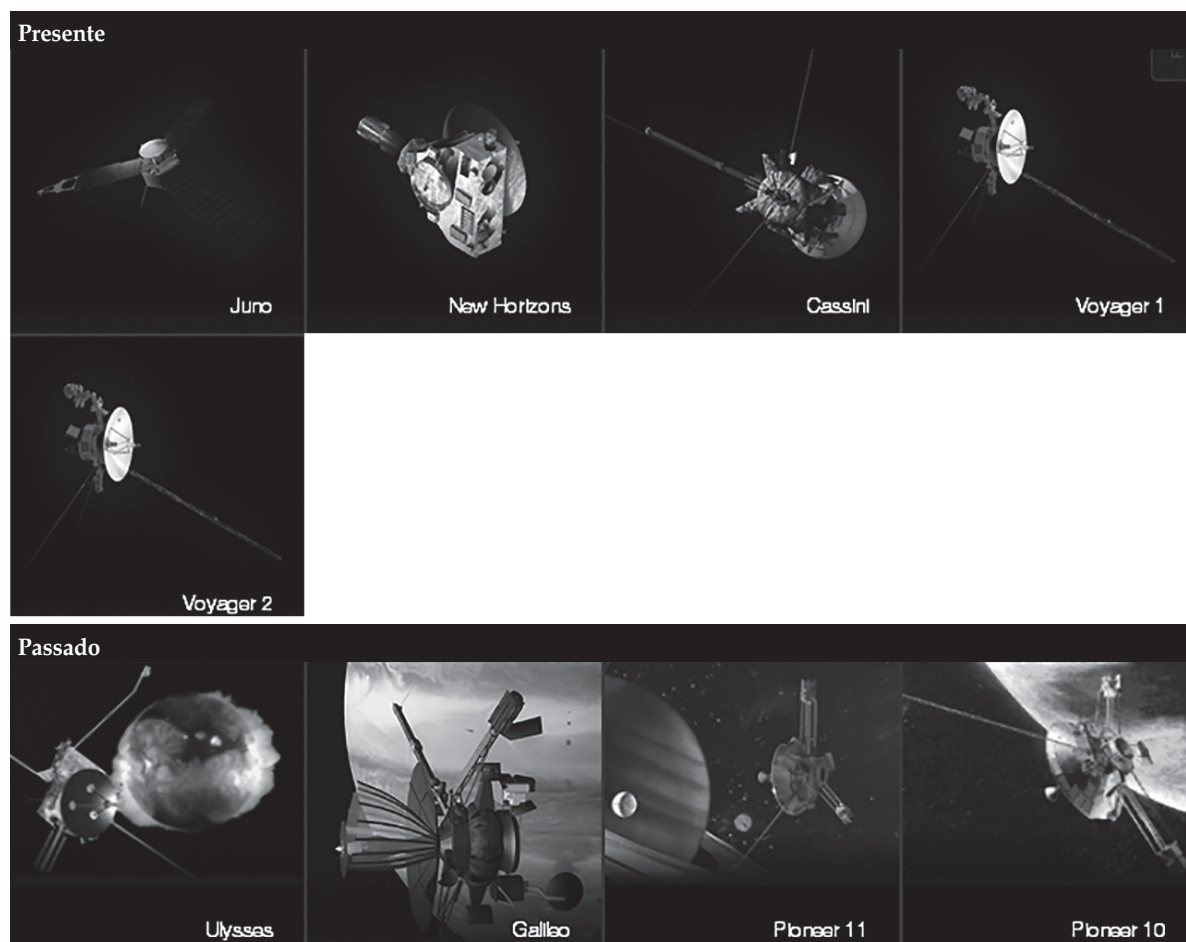


Figura 17
Missões Espaciais a Júpiter

Europa, um dos quatro satélites galileanos de Júpiter, é gelado e um pouco mais pequeno que a Lua. A Missão *Galileo* da NASA, que explorou o Sistema de Júpiter de 1995 a 2003, fez numerosas aproximações a Europa. Obteve as imagens mais próximas, até à data, da superfície fraturada do Satélite, revelando estranhos vales e elevações que podem sugerir que o gelo esteja lentamente a mover-se ou em convecção

devido ao aquecimento vindo do interior. Europa é especial entre os corpos do Sistema Solar por ter um potencialmente enorme volume de água. A água será mantida líquida devido às marés induzidas pelas perturbações orbitais dos outros satélites galileanos. Mais ainda, a atividade geológica pode favorecer a troca de elementos químicos da superfície com o ambiente aquoso por baixo do gelo. De facto, **Europa** poderá ser **um dos lugares mais promissores do Sistema Solar para procurar sinais da atual forma de vida.**

Em 2013, a NASA, utilizando informação do *Hubble Space Telescope* (HST), divulgou surpreendente evidência de que Europa poderia estar a descarregar, ativamente, plumas de água para o Espaço (Figura 18). A descoberta despertou considerável atenção uma vez que poderá ser uma indicação de que o Satélite está geologicamente ativo. Se for confirmado por próximas observações, as plumas deverão ser investigadas em futuras missões.

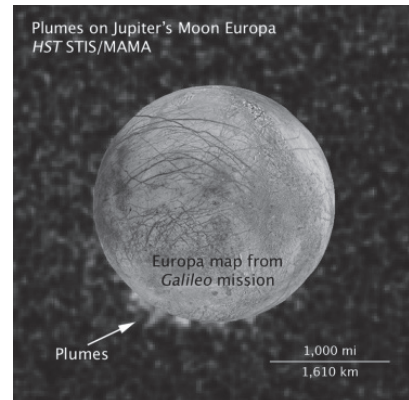


Figura 18.
Satélite Europa

3.2.5 Saturno

Enquanto Saturno é um lugar improvável para a existência de seres vivos, o mesmo não acontece para alguns dos seus muitos (mais de 53) satélites. Satélites como **Encelado** e **Titã**, com condições para terem oceanos internos, podem ser favoráveis à existência de vida. A missão *Cassini* (Figura 19), atualmente ainda a decorrer, irá terminar a 15 de Setembro de 2017, quando a sonda entrar na atmosfera de Saturno (Figura 20).

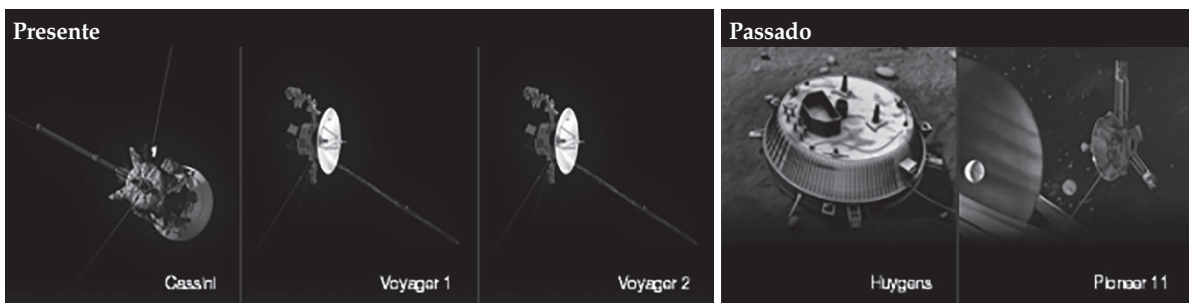


Figura 19.
Missões Espaciais a Saturno

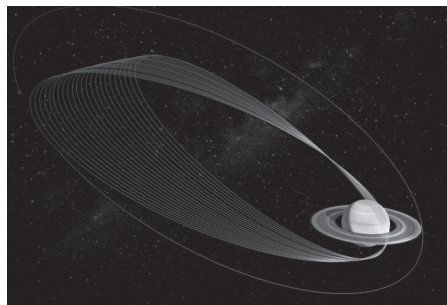


Figura 20.
Missão Cassini

Para além dos anéis, Saturno possui 53 satélites já identificados, dos quais dois podem ter vida (Figura 21).

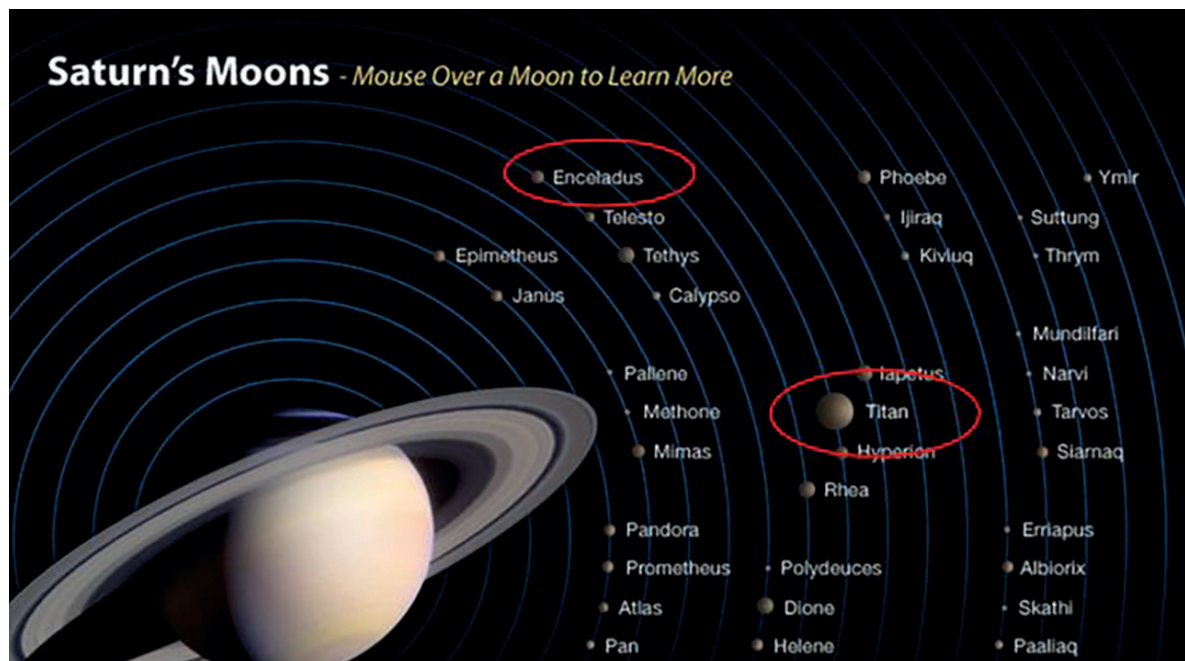


Figura 21.
Satélites de Saturno

A sonda *Cassini*, detetou, em 2005, jatos de vapor de água e gelo em **Encelado** (Figura 22). Os jatos podem ter origem num profundo mar subterrâneo ou em gelo derretido das paredes de fissuras por movimentos de maré ou aquecimento.



Figura 22.
Jatos de vapor de água em Encelado

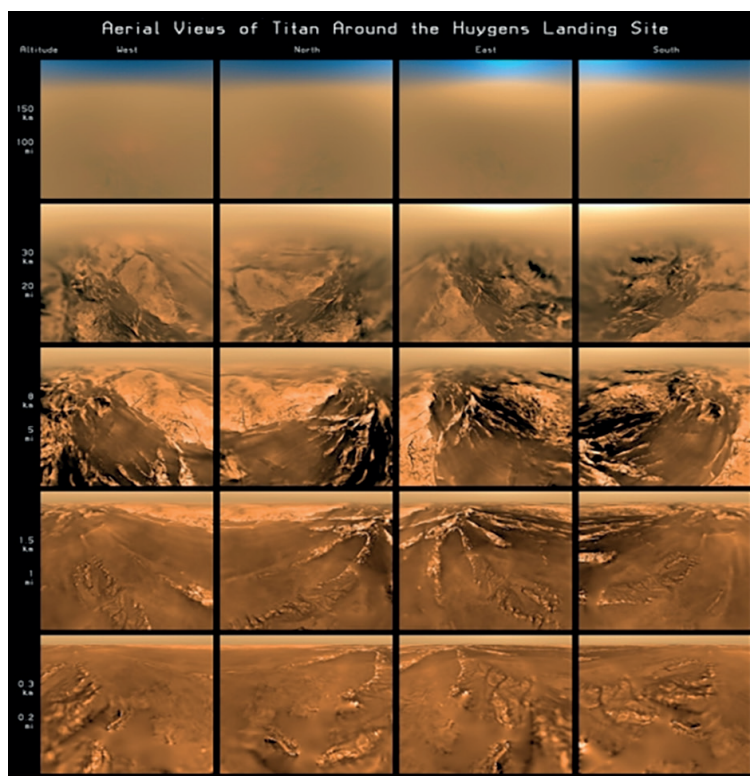


Figura 23.
Aspetos do solo de Titã

Em 14 Janeiro 2005, a sonda *Huygens* da ESA desceu à superfície de **Titã** (Figura 23).

O *Huygens Atmospheric Structure Instrument (HASI)* fez as primeiras medidas na atmosfera de **Titã**, determinando a temperatura atmosférica, pressão e densidade desde uma altitude de 1400 km até à superfície. Um aspeto importante a clarificar está relacionado com a origem do metano na atmosfera de Titã. Uma vez que a radiação ultravioleta do Sol decompõe o metano, a sua renovação requer uma fonte. Essa fonte poderá ser metano líquido do subsolo mas também *poderá ter origem em **micro organismos** que no subsolo e na presença de água possam, tal como na Terra, produzir metano.*

Outro resultado já conhecido é que o Titã e a Terra são os únicos corpos do Sistema Solar com densas atmosferas de azoto. Embora os dados da missão *Voyager* indicassem já que o azoto (N_2) era o principal gás na atmosfera de Titã, o *Gas Chromatograph Mass Spectrometer (GCMS)* da sonda *Huygens* fez a primeira identificação direta do volume de azoto atmosférico e sua abundância. Outras medidas do GCMS podem, ainda, fornecer indícios sobre a origem daquela atmosfera.

3.2.6 Extremo do Sistema Solar

Na Figura 24 estão representados, esquematicamente, os principais componentes do Sistema Solar bem como as principais missões espaciais concebidas para a recolha de informação sobre a sua parte mais exterior. Segue-se, na Figura 25, uma imagem de Plutão, um planeta rochoso e gelado, visto pela sonda *New Horizons*, da NASA, a 768 000 km, quando, a caminho da *Cintura de Kuiper* (Figura 26), o observou durante 6 meses e descobriu os seus 4 satélites.

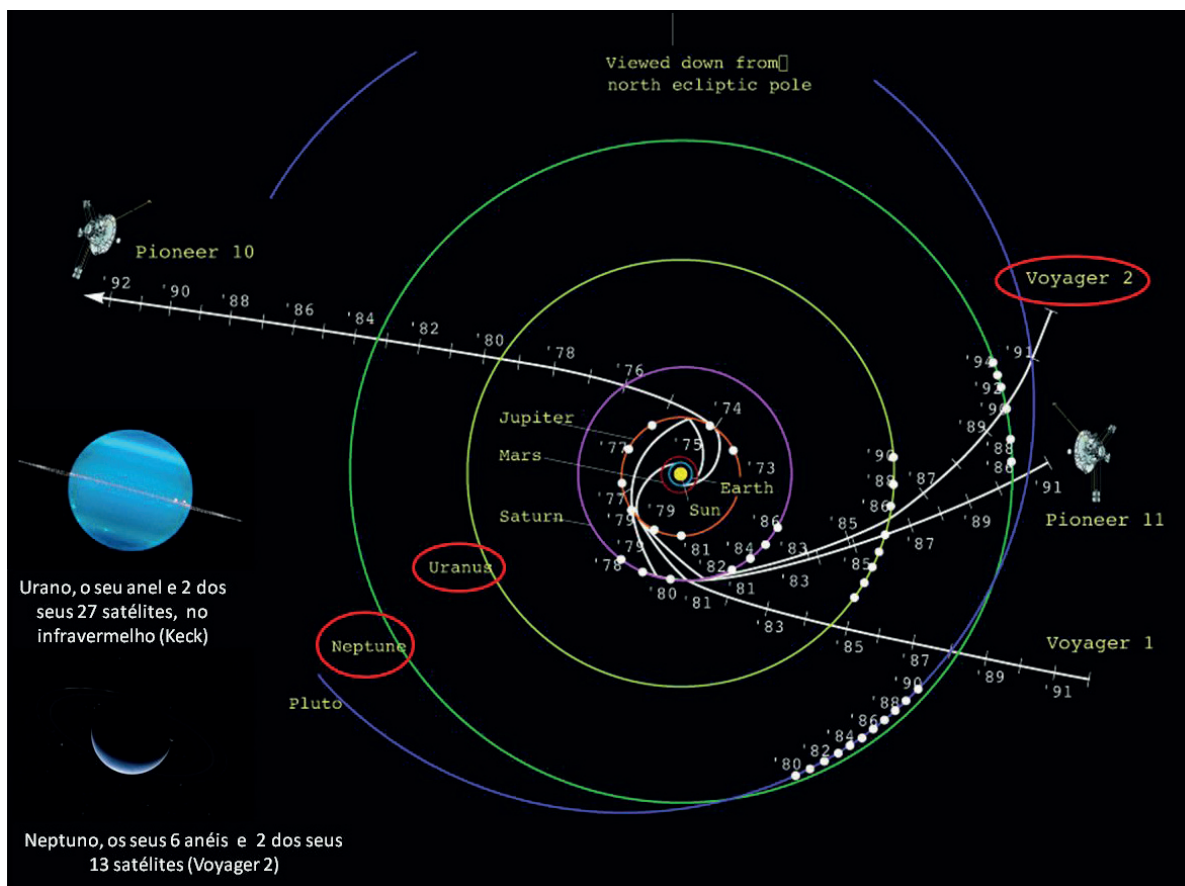


Figura 24.

Esquema do Sistema Solar, com indicação das principais missões espaciais



Figura 25.

Plutão

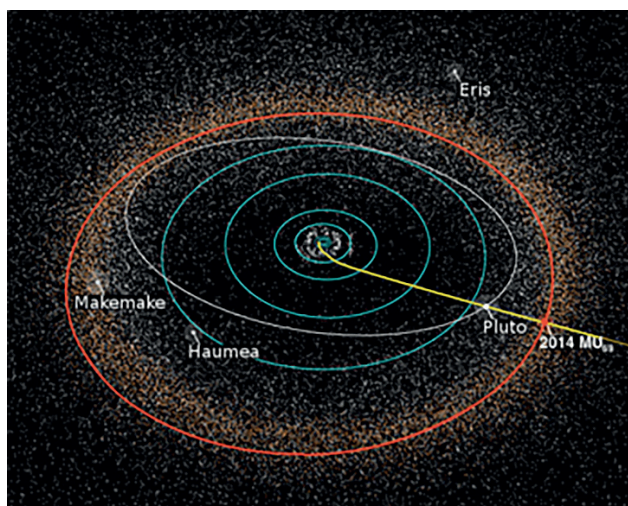


Figura 26.

KBO 2014 MU69

Espera-se que a sonda atinja o Kuiper Belt Object (KBO) 2014 MU69 a 1 de Janeiro de 2019. Na Figura 27 estão representadas as órbitas de alguns dos astros conhecidos e mais distantes do Sistema Solar.

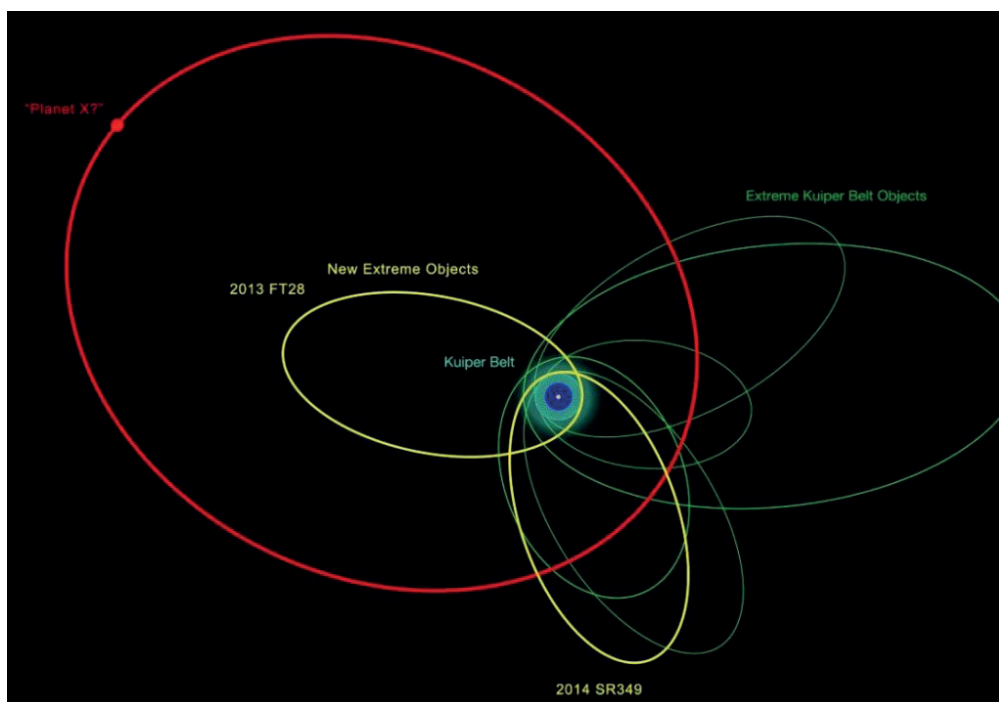


Figura 27.
Órbitas de corpos celestes mais distantes no Sistema Solar

3.3 Galáxias

3.3.1 Localização do Sistema Solar na Galáxia (Via Láctea)

A localização do Sistema Solar no conjunto da Via Láctea está representada na Figura 28, a cerca de 27 000 anos-luz do seu centro.

Na Figura 29 apresenta-se uma imagem do Centro da Via Láctea obtida com o *Hubble Space Telescope (HST)*.

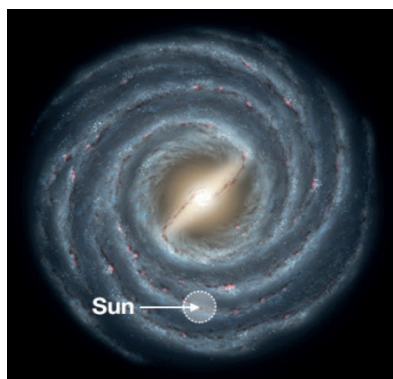


Figura 28.
Representação da Via Láctea

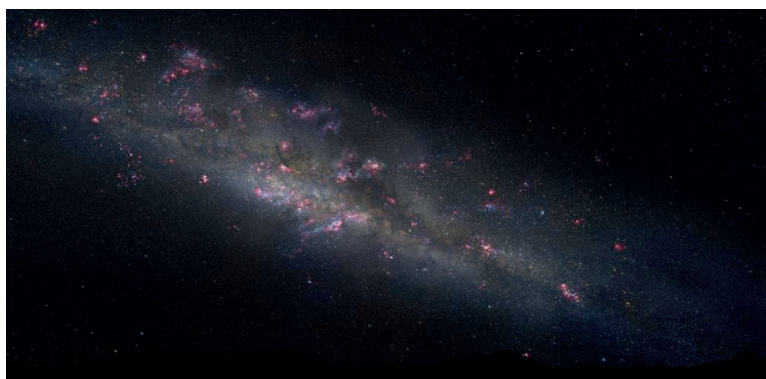


Figura 29.
Centro da Via Láctea

3.3.2 Outras Galáxias

Uma das Galáxias mais próximas da Via Láctea, visível à vista desarmada, é a Galáxia de Andrômeda, apresentada na Figura 30 numa imagem obtida com o *HST*.

O Universo é constituído por milhares de milhões de Galáxias, por vezes em grupos de Galáxias (enxames de Galáxias), como o que se reconhece na imagem da Figura 31 obtida com o *HST*.



Figura 30.
Imagem da Galáxia de Andrômeda



Figura 31.
Enxame constituído por milhares de Galáxias individuais

Atendendo às respetivas dimensões e distâncias não é provável que ocorram encontros de duas estrelas individuais; o mesmo não acontece com as Galáxias, onde esses encontros são frequentes (Figura 32). A nossa própria Via Láctea terá passado por uma dessas situações durante a sua evolução.



Figura 32.
Encontro rasante de duas Galáxias (*HST*)

4. EXOPLANETAS (PLANETAS FORA DO SISTEMA SOLAR)

Um dos domínios da Astronomia em mais rápido desenvolvimento no momento atual é o dos **Exoplanetas**, isto é, planetas localizados fora do Sistema Solar. Na Figura 33 encontram-se valores do número de Exoplanetas descobertos até agora e a comparação desses valores em duas datas dos últimos meses.



Figura 33.
Números de Exoplanetas confirmados

4.1 Descoberta do Primeiro Exoplaneta

O primeiro Exoplaneta foi detetado em 1995, há pouco mais de 20 anos, tendo sido designado por *51 Pegasi b*. Pertence a uma categoria hoje conhecida por “Júpiter Quente”. Sabe-se agora que é um imenso globo gasoso que orbita muito próximo de uma estrela, *51 Pegasi*. Foi o professor Michel Mayor, da Universidade de Genebra, quem o identificou em 1995, dando início a uma **autêntica revolução na astronomia**.

A estrela *51 Pegasi*, localizada a 50.1 anos-luz ($1 \text{ AL} = 9.4 \times 10^{12} \text{ km}$), é uma estrela de tipo espectral G2IV, semelhante ao Sol, mas, aparentemente, mais evoluída. A sua temperatura fotosférica é de 5790°K e é 26% maior e 4% mais maciça do que o Sol. É também mais rica em elementos mais pesados do que o hidrogénio e hélio. As estimativas da sua idade variam entre os 6.1 e os 8.1 mil milhões de anos. A idade do Sol está estimada em 4.6 mil milhões de anos.

A massa estimada para o seu satélite *51 Pegasi b*, a partir da observação da variação da velocidade radial da estrela, é de, no mínimo, 0.45 vezes a massa de Júpiter. Com um período de 4.23 dias, o planeta orbita a estrela hospedeira a uma distância de apenas 7.8 milhões de quilómetros, ou seja, 7 vezes mais próximo da sua estrela do que Mercúrio está do Sol. As forças de maré provocadas pela estrela *51 Pegasi* forçaram-no, ao fim de muitos milhões de anos, a apresentar sempre a mesma face voltada para a estrela. Devido à forte radiação a que está submetido, a sua atmosfera é extremamente quente, na ordem dos 1250°K , e mais dinâmica do que a de Júpiter, com ventos globais de milhares de km/h.

Na Figura 34 está representada a variação da velocidade radial da estrela *51 Pegasi* provocada pelo movimento orbital do planeta. Os pontos vermelhos com barras verticais representam as observações com as respectivas margens de erro. A linha a negro é o gráfico da função que melhor se ajusta às observações.

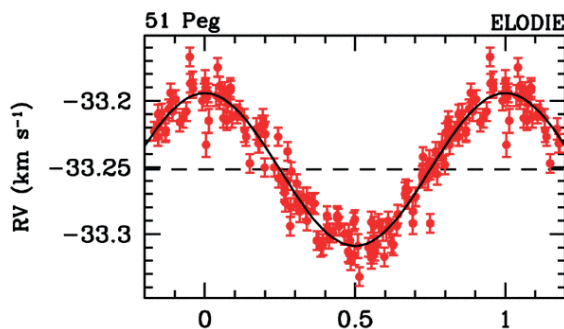


Figura 34.
Variação da velocidade radial

A Figura 35 apresenta uma vista geral do Observatório de Haute Provence (França) bem como imagens do Telescópio de 1.93 m e do espectrógrafo ELODIE usados nas observações que conduziram à descoberta do primeiro Exoplaneta.

As investigações científicas centram-se agora na procura de planetas de dimensão mais reduzida, como a nossa Terra. Presentemente, há mais interesse por aspetos muito específicos, nomeadamente a descoberta de planetas habitáveis, tal como a Terra, a uma distância de uma estrela que permita a existência de água em forma líquida. As observações são feitas tanto de observatórios terrestres como de satélites especialmente dedicados, mas encontram sempre os mesmos problemas: estes Exoplanetas estão muito afastados e é difícil detetar os mais semelhantes à Terra.

Pelo mesmo motivo, a grande maioria dos Exoplanetas não pode ser observada diretamente, pelo que houve necessidade de desenvolver novas técnicas e novos métodos, que serão apresentados resumidamente.

4.2 Instrumentos para Observação dos Exoplanetas

As observações visando a descoberta de novos Exoplanetas podem ser feitas em diferentes comprimentos de onda e em lugares diversos, à superfície da Terra (Grandes Telescópios) e no Espaço (Telescópios Espaciais) (Figura 36).



Figura 35.
Observatório de Haute Provence (França)

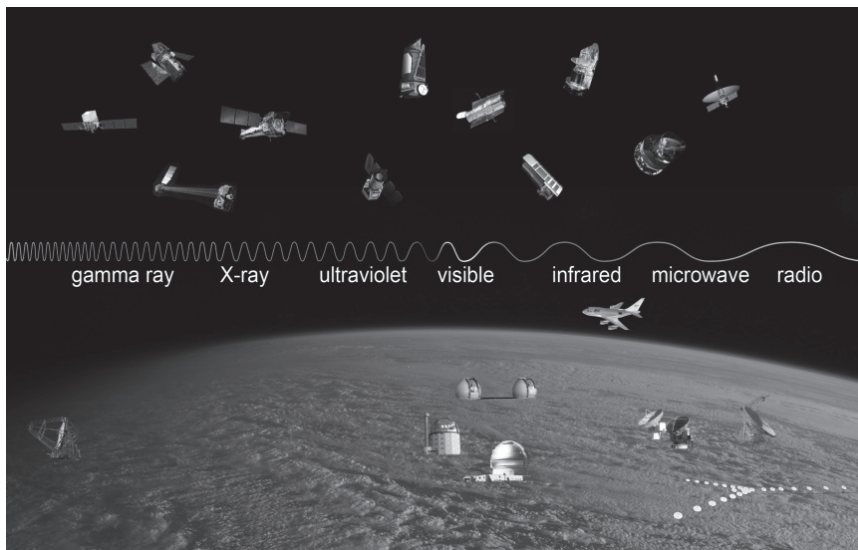
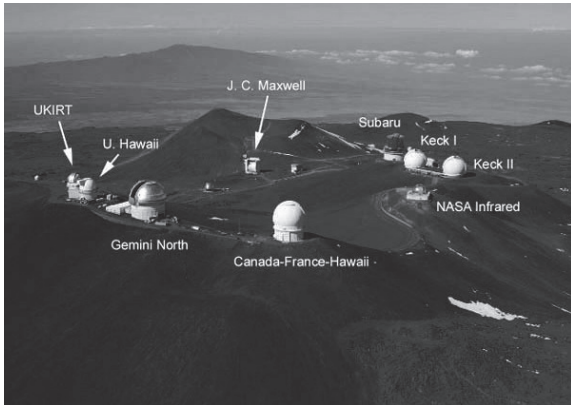


Figura 36
Meios de Observação

4.2.1 Grandes Observatórios Terrestres

A necessidade de instalar os telescópios em locais de elevada altitude e sem poluição luminosa, leva a que nos grandes observatórios estejam instalados telescópios de diferentes países.

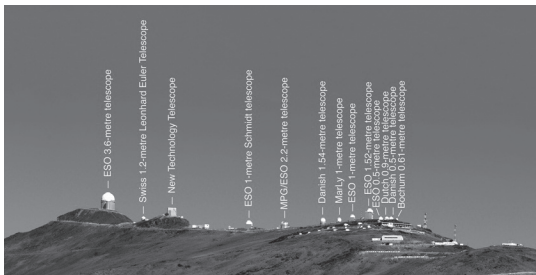
No que se segue serão referidos os maiores observatórios, a sua localização e uma imagem cujo crédito é do respetivo observatório. Não se pretende cobrir exaustivamente o conjunto dos observatórios em que decorre investigação no domínio dos Exoplanetas.



Mauna Kea Observatory (MKO). Hawaii, USA



Observatório do Paranal. Very Large Telescope (VLT). European Southern Observatory (ESO). Montanha do Paranal, Chile



Observatório de La Silla, ESO. Montanha de La Silla, Chile



Observatório de Roque de los Muchachos. Instituto de Astrofísica das Canárias. Ilha de La Palma, Canárias, Espanha



South Pole Telescope (SPT) Universidade de Chicago, USA. Estação Amundsen-Scott, Pólo Sul, Antártida



Observatório de Atacama, Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). ESO, NSF (USA), NINS (Japão), NRC (Canadá), NSC e ASIAA (Taiwan), KASI (República da Coreia). Deserto de Atacama, Chile

4.2.2 Telescópios em Órbitas Geocêntricas ou Heliocêntricas

Hubble Space Telescope (HST)

O *Hubble Space Telescope (HST)*, da NASA, foi o primeiro observatório astronômico a ser colocado em órbita à volta da Terra, com a possibilidade de registrar imagens em comprimentos de onda desde o ultravioleta ao infravermelho próximo. Colocado em órbita, em 24 Abril 1990, a bordo do *Space Shuttle Discovery*, o *Hubble* está correntemente a cerca de 550 km acima da superfície da Terra. Descreve 15 órbitas por dia, ou seja, uma revolução em cada 95 minutos.



Figura 37.
O HST em órbita, em Maio de 2009

Spitzer Space Telescope (SST)

Integrado no programa da NASA “Astronomical Search for Origins”, foi lançado em 2003 numa missão com duração de 2.5 anos, mas que tem sido prolongada em sucessivas fases (Figura 38).

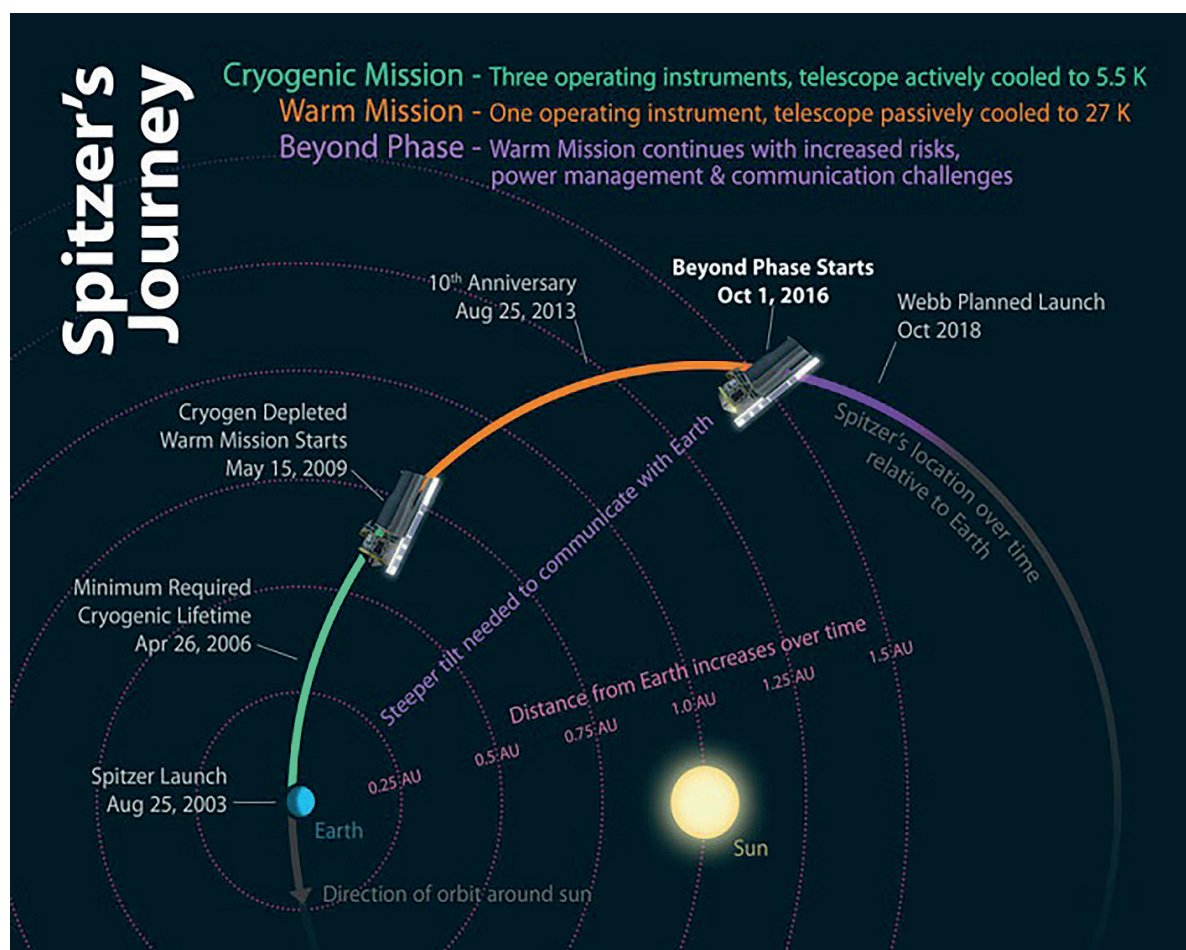


Figura 38.
Missão do SST

O SST tem contribuído para a descoberta de muitos **Exoplanetas** e, além disso, do seu clima, o que é muito importante para a procura de vida.

O *Spitzer Space Telescope* observa o Universo na banda dos infravermelhos com 1 câmara (IRAC), 1 espectrógrafo (IRS) e 1 fotómetro (MIPS) (Figura 39).

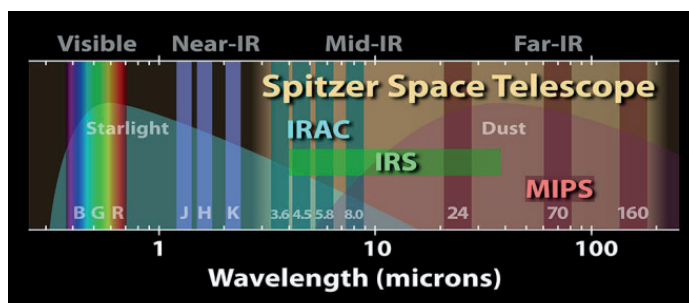


Figura 39.
Gráfico da observação do SST.

Kepler Space Telescope (KST)

O Telescópio *Kepler* foi lançado em 2006, numa órbita heliocêntrica próxima da órbita da Terra. O objetivo da missão é detetar **Exoplanetas** com a dimensão da Terra, que tenham água, orbitem a respetiva estrela numa zona habitável e que, portanto, sejam candidatos a ter condições para a existência de vida (Figura 40).

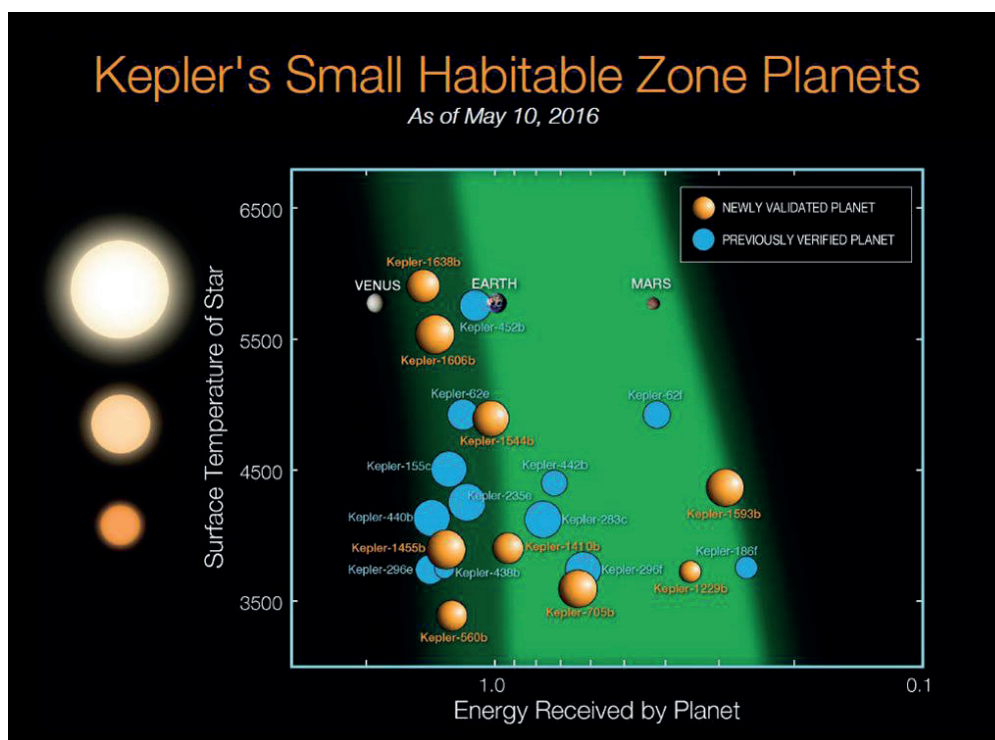


Figura 40.
Regiões favoráveis à existência de vida

4.3 Métodos na Detecção de Exoplanetas

4.3.1 Detecção Direta

A obtenção de imagens de Exoplanetas é muito difícil de conseguir, essencialmente por duas razões: Primeiro, a separação angular entre um planeta e a sua estrela, quando observada da Terra, é muito pequena;

Segundo, há um enorme contraste entre o brilho da estrela e o do planeta; contudo, observando na zona dos infravermelhos, o contraste pode ser reduzido. Na Figura 41 estão indicadas algumas das descobertas por este processo.

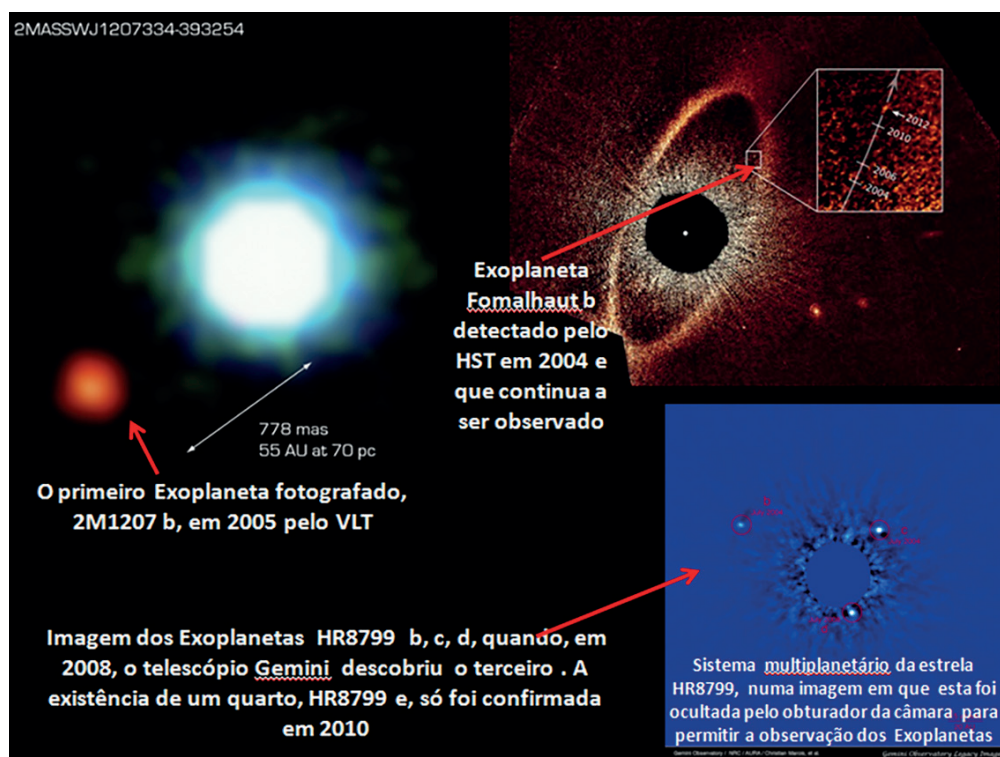


Figura 41.
Detecção Direta

4.3.2 Detecção Indireta: Efeitos Dinâmicos

Trata-se de utilizar métodos análogos ao que, no Séc. XIX, conduziu à descoberta de Neptuno, nomeadamente a perturbação gravitacional induzida pelo planeta. Num Sistema Estrela-Planeta, os dois estão em movimento em volta do seu Centro de Massa (CM) comum. Presentemente, há três processos para detetar estes Efeitos Dinâmicos.

4.3.2.1 Astrometria

Uma maneira óbvia de detetar pequenos movimentos estelares em volta do CM do Sistema Estrela-Planeta consiste em monitorizar a posição da estrela na Esfera Celeste. Porém, mesmo para curtas distâncias, o movimento é extremamente pequeno, difícil de ser detetado com as técnicas astrométricas

usadas em Terra. Mas será certamente alcançado com técnicas interferométricas nos recentes projetos *Very Large Telescope (VLT)*, no Chile, e na missão Espacial Europeia GAIA (*Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*). Este satélite, GAIA, foi colocado em órbita, em Dezembro de 2013, tendo havido uma participação nacional nas várias fases do projeto.

4.3.2.2 Variações de Tempo

Um outro método para a eventual deteção de Exoplanetas consiste na monitorização dos tempos de chegada de sinais de pulsares, aproveitando o enorme rigor que hoje se pode atingir com os Relógios Atômicos. A partir deste tipo de dados é possível reconhecer perturbações no movimento da estrela induzidas pela eventual presença de um planeta. O número de pulsares é muito inferior ao número de estrelas de tipo solar, mas alguns Exoplanetas foram já descobertos por este método.

4.3.2.3 Velocidades Radiais

Para detetar pequenos movimentos da estrela em volta do CM, um terceiro método recorre a diferentes espectros dessa estrela interpretando-os com base no Efeito Doppler sobre a radiação por ela emitida.

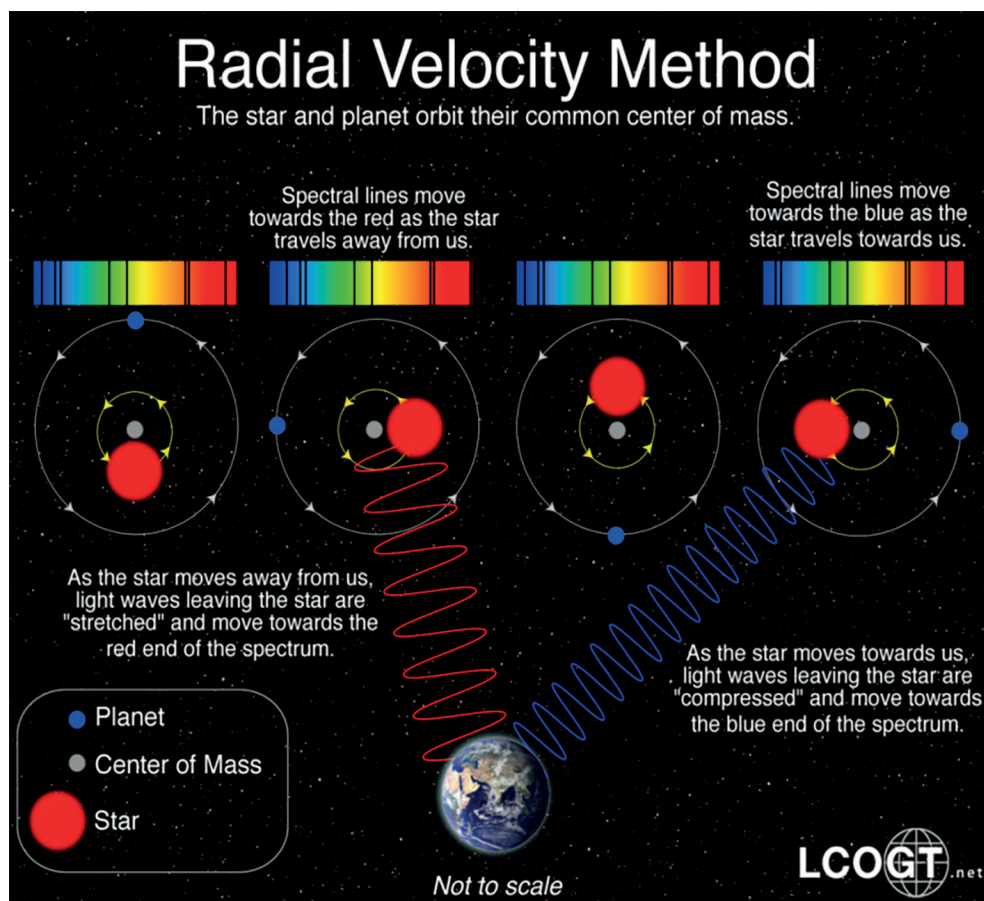


Figura 42.
Desvio das riscas do espectro

A partir dos espectros é possível reconstruir as curvas das chamadas velocidades radiais (componentes da velocidade na direção Observador – Estrela) em função do Tempo e destas obter uma função da massa do planeta ($m \cdot \sin i$, sendo i a inclinação da órbita do Sistema em relação à linha de visão). Além disso, da forma da curva é possível avaliar a excentricidade da órbita planetária. O desafio está em atingir uma precisão superior a 10 m/seg. nas medidas de velocidades radiais a fim de poder detectar planetas com massa da ordem da massa de Júpiter.

Na Figura 43 está representada a variação da Velocidade Radial da estrela HD99492 provocada pela presença do Exoplaneta HD99492 b.

Este método foi aplicado pela primeira vez, na já referida observação, em 1995, da Estrela 51 *Pegasi*, com o espectrógrafo *Elodie* no Telescópio de 1.93 m do Observatório de Haute Provence.

Neste caso, a semi-amplitude da curva da velocidade radial foi 50 m/seg., o que permitiu estimar uma massa planetária (módulo $\sin i$) de 0.47 massa de Júpiter e o período do movimento do Exoplaneta, 4.231 dias, o que corresponde a um semi-eixo maior de 0.05 UA.

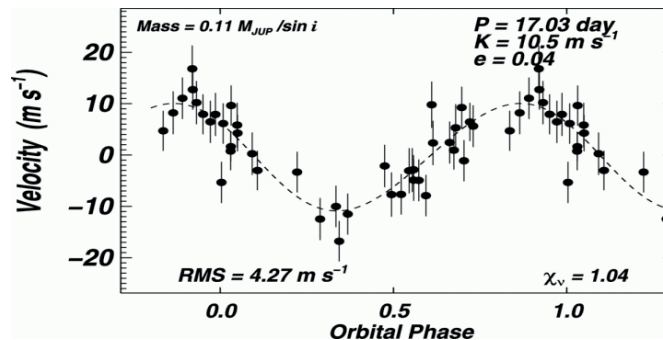


Figura 43.

Variação da Velocidade Radial da Estrela provocada pelo Exoplaneta

4.3.3 Deteções Fotométricas

A Fotometria Estelar fornece dois dos principais métodos para procurar Exoplanetas: Um relacionado com efeitos relativistas; outro, a simples configuração geométrica.

4.3.3.1 Microlentes gravitacionais

Como se disse anteriormente, Einstein calculou o efeito de lente gravitacional causado pelo alinhamento de uma fonte estelar distante, o observador e uma estrela localizada entre os dois, atuando esta como lente gravitacional curvando a luz vinda da estrela fonte.

O processo consiste em acompanhar de uma forma tão precisa quanto possível a amplificação principal devida à lente, que pode ter uma duração de semanas ou meses, a fim de reconhecer a amplificação planetária secundária, que terá apenas a duração de horas (Figura 44). Vários Exoplanetas têm sido descobertos por este processo.

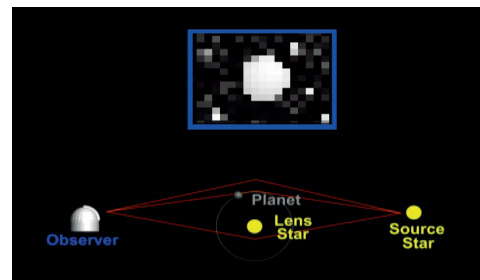


Figura 44.

Esquema de microlente gravitacional

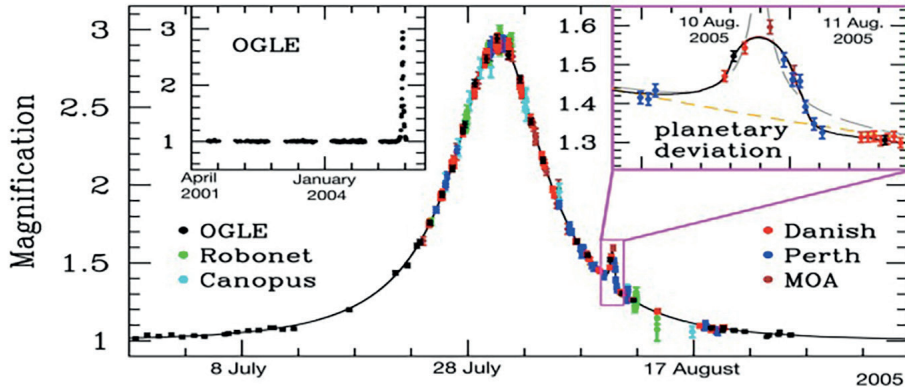


Figura 45
OGLE – Optical Gravitational Lensing Experiment

4.3.3.2 Trânsitos

Se a Terra estiver próxima do plano da órbita do Exoplaneta, em volta da estrela hospedeira, poderá ser possível observar a passagem do planeta em frente da estrela (Figura 46). A pequena ocultação da luz da estrela durante o trânsito (que pode durar algumas horas) depende naturalmente dos raios da estrela e do planeta.

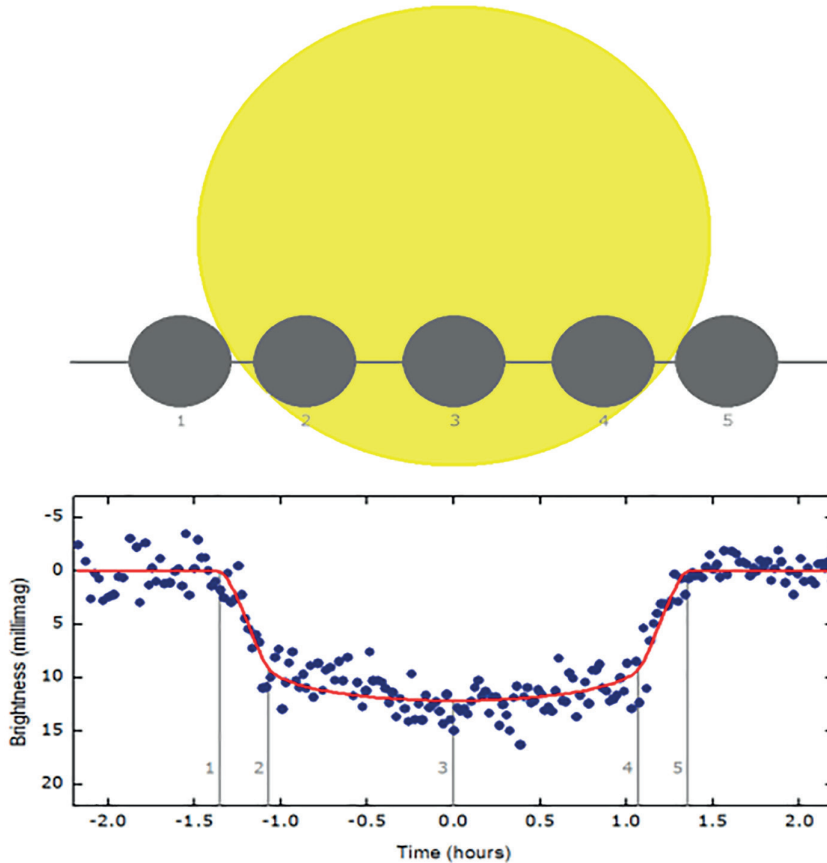


Figura 46.
Trânsito do planeta

Na Figura 47 estão representados os cinco primeiros Exoplanetas descobertos com o Telescópio Espacial *Kepler*.

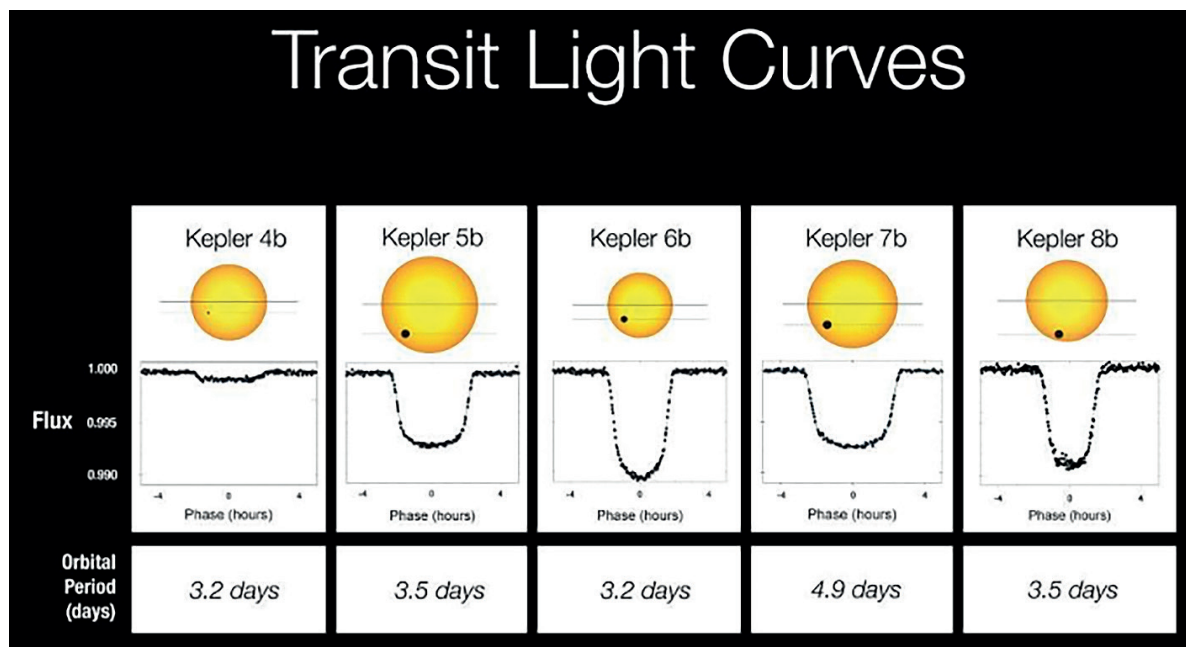


Figura 47.
Primeiros Exoplanetas descobertos com o Kepler

O primeiro trânsito confirmado por este método foi o do Exoplaneta HD209458 b, também designado Osíris, registado com um pequeno telescópio terrestre em 1999 e estudado rigorosamente mais tarde com o HST.

Raio medido	1.4 Raio de Júpiter
Período	$3.524\,754\,2 \pm 0.000\,000\,4$ dias
Semi-eixo maior	6.7 milhões de km
Massa	0.699 ± 0.007 Massa de Júpiter

Combinando a massa e o raio, obtém-se o valor da densidade média do Exoplaneta, 0.34 g/cm^3 , o que prova que Osíris é um gigante gasoso.

Presentemente, este é o método que tem permitido a deteção do maior número de Exoplanetas. Por exemplo, no último ano, 2016, esse número foi de cerca de 1500, muito superior a qualquer dos outros métodos.

Uma das mais interessantes e recentes descobertas com o *Spitzer Space Telescope* (SST), ao fim de 500 horas de observação de Trânsitos, foi o Sistema TRAPPIST-1 constituído pela estrela anã ultra-fria TRAPPIST-1 e pelos sete planetas TRAPPIST-1 b, c, d, e, f, g, h (Figura 48).

Estes planetas são rochosos, com uma dimensão semelhante à da Terra e estão todos a distâncias da estrela inferiores à de Mercúrio ao Sol.

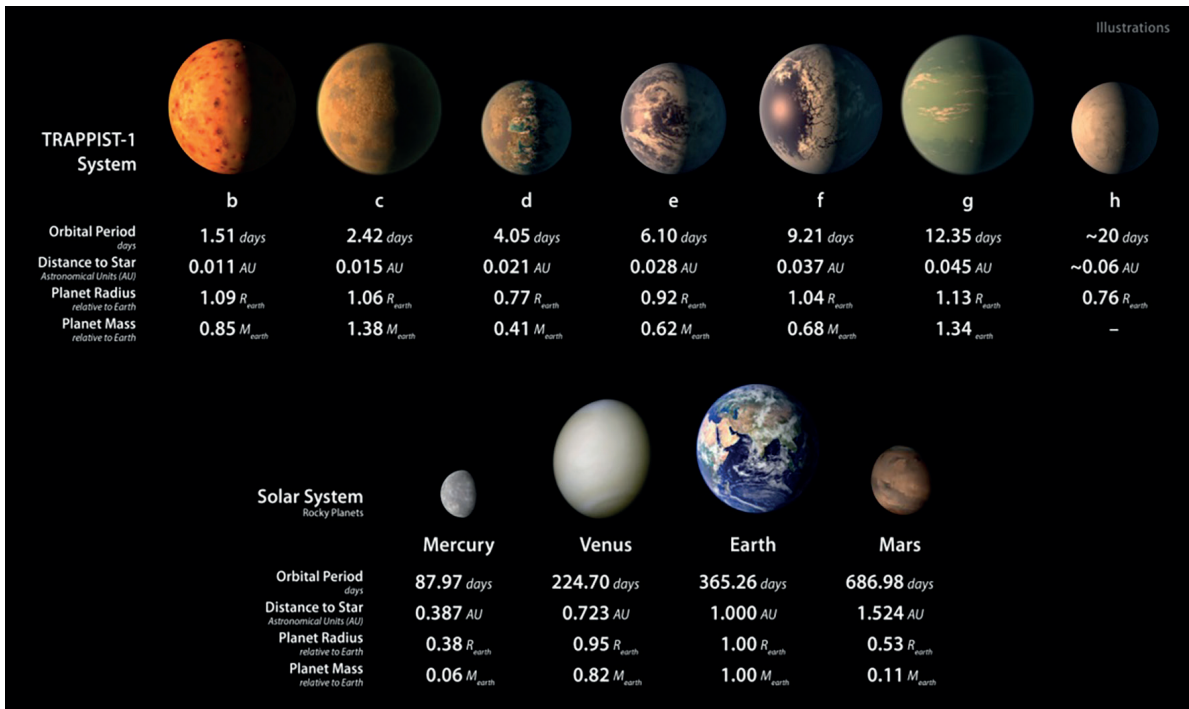


Figura 48.
Sistema TRAPPIST-1

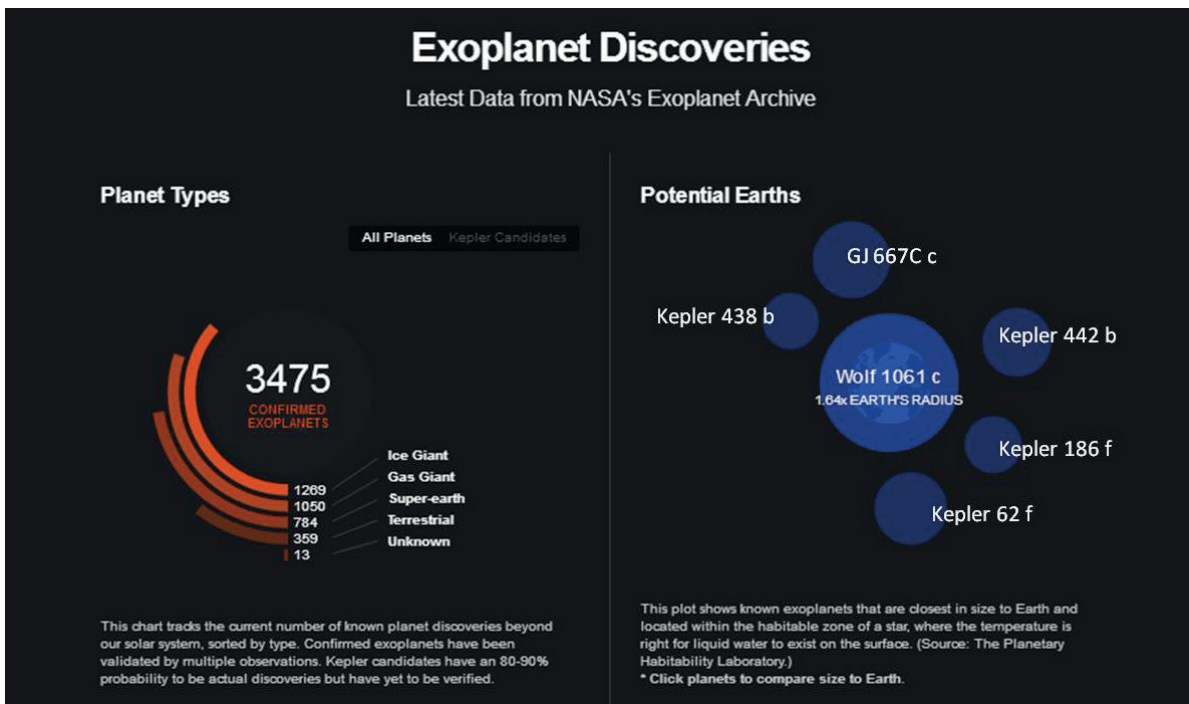


Figura 49
Exoplanetas Confirmados

4.4 Resultados

Na Figura 49 estão indicados os resultados mais recentes dos Arquivos de Exoplanetas da NASA, incluindo 3475 Exoplanetas confirmados e aqueles com condições análogas à nossa Terra.

Seguem-se as percentagens do total de Exoplanetas confirmados, em ligação com os diferentes métodos anteriormente apresentados (Figura 50).

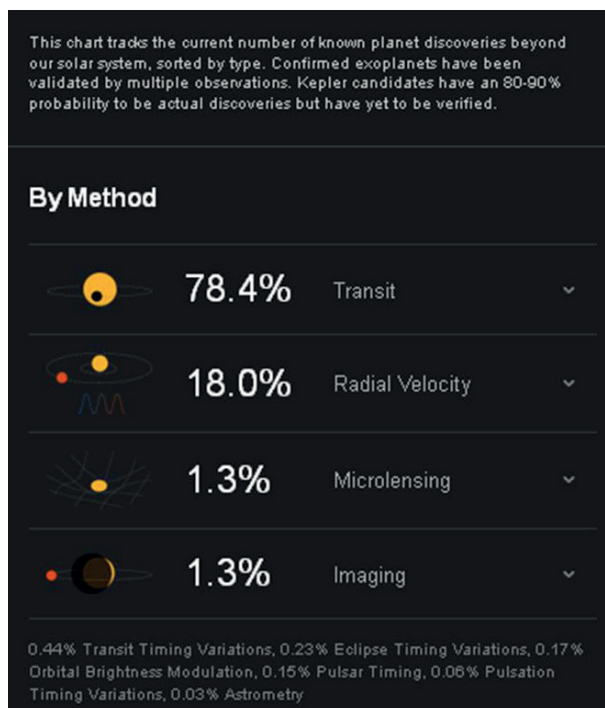


Figura 50.

Percentagens de acordo com os diferentes métodos

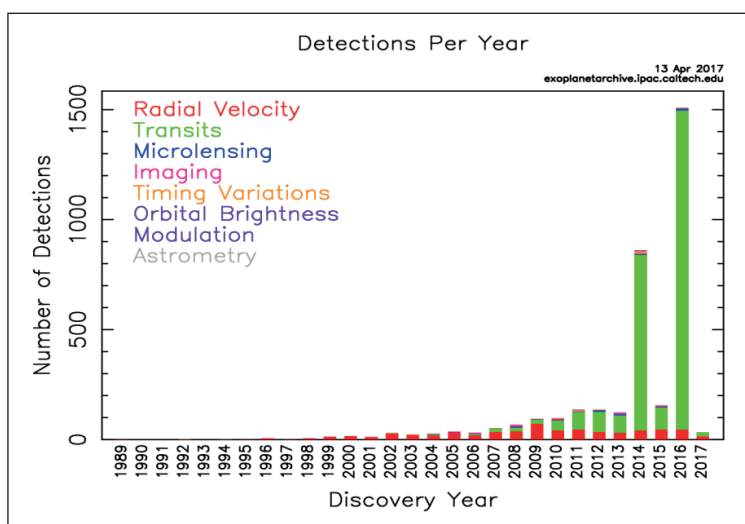


Figura 51

Número de Exoplanetas detetados anualmente

O número de descobertas de Exoplanetas tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (Figura 51), em especial no ano anterior, 2016.



FIGURA 52
Zona de habitabilidade

Na imagem à direita, na Figura 52, a zona de habitabilidade está representada a azul e a sua extensão, provocada por vulcanismo ativo, a vermelho.

Para terminar, apresenta-se uma imagem que indica a localização, na nossa Galáxia, a Via Láctea (Figura 53), do conjunto dos Exoplanetas conhecidos. O Exoplaneta aí assinalado foi descoberto com observações do SST e encontra-se a 13 000 anos-luz. Esse e todos os pontos brancos na figura representam Exoplanetas descobertos pelo método das lentes gravitacionais. O cone vermelho representa a zona dos Exoplanetas detetados pela missão Kepler e o círculo vermelho a localização dos restantes Exoplanetas confirmados.

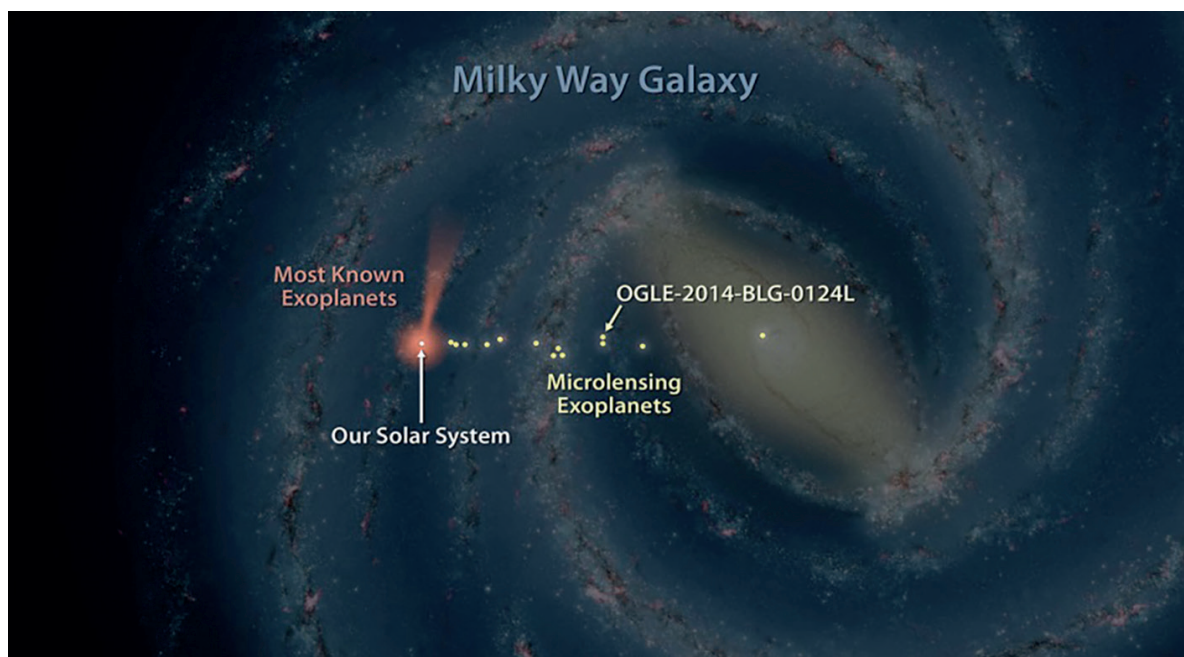


Figura 53
Localização dos Exoplanetas confirmados

5. CONCLUSÃO

A investigação sobre a estrutura do Universo e a eventual existência de vida extraterrestre são temas que têm vindo a despertar a maior atenção nas últimas décadas. Os avanços conseguidos na compreensão de estruturas como o Sistema Solar ou a nossa Galáxia (Via Láctea) são verdadeiramente extraordinários. Nesta comunicação houve a intenção de apresentar alguns dos desenvolvimentos mais significativos, nomeadamente os que resultam da utilização da tecnologia espacial e de grandes estruturas de observação terrestre. Muitos dos grandes projetos, tanto espaciais como terrestres, estão ainda em curso. Na Figura 54, para além de alguns projetos espaciais já concluídos, estão indicados os previstos para o futuro mais próximo.

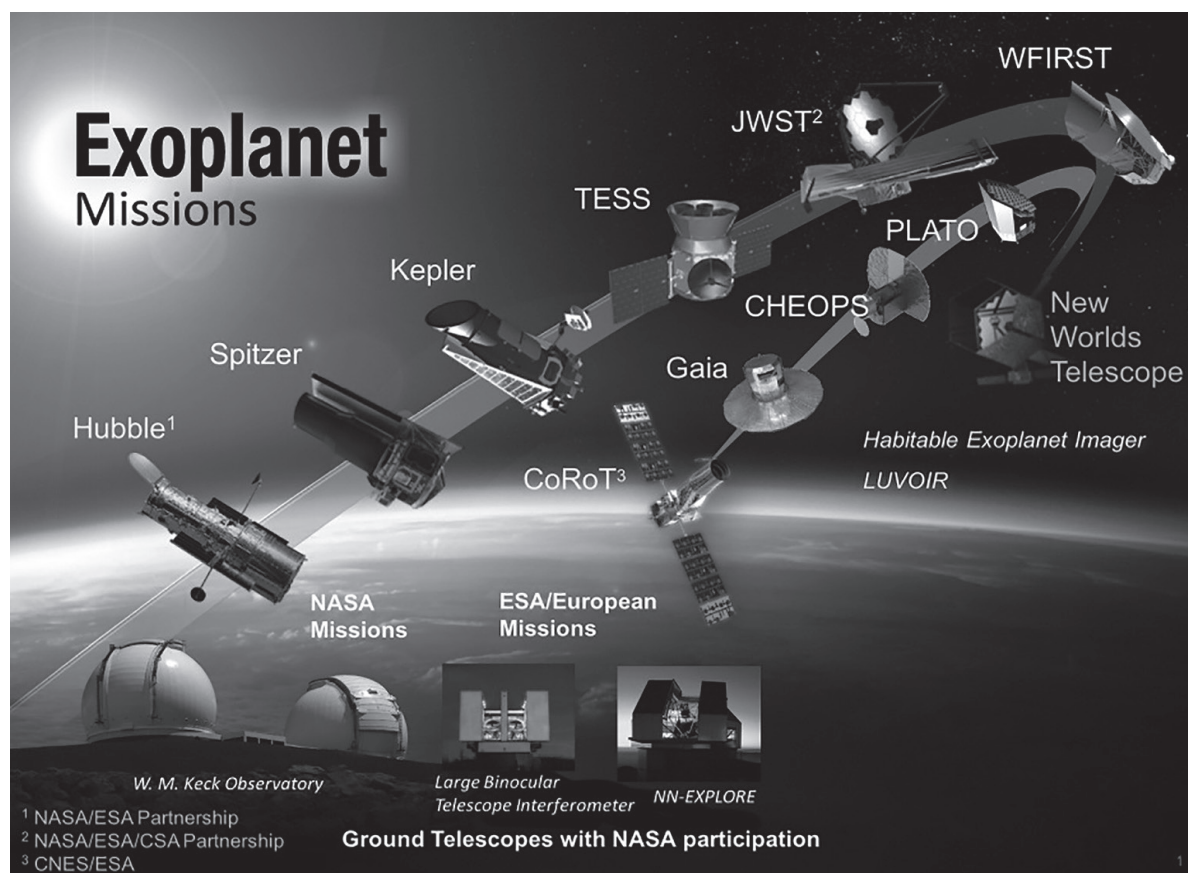


Figura 54.
Missões espaciais da NASA e da Europa

No que respeita a grandes telescópios, há que salientar o *European Extremely Large Telescope* (E-ELT). Este novo telescópio terrestre revolucionário, com início de operação previsto para 2024, terá um espelho primário de 39 metros de diâmetro e será o maior telescópio nos domínios óptico e infravermelho (Figura 55).

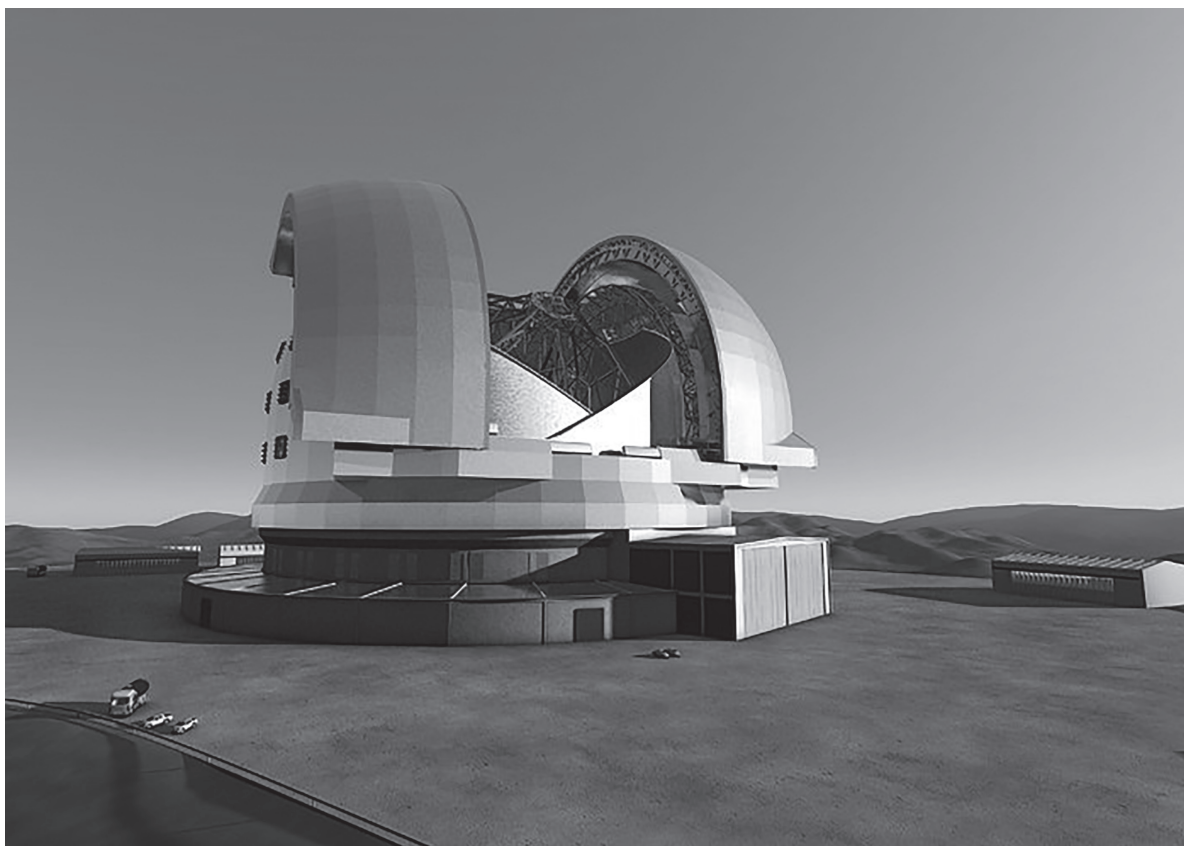


Figura 55.
Telescópio E-ELT

BIBLIOGRAFIA

- Osório J. P., *Cosmic Dimensions*, Symposium Aristarchus of Samos, Samos, Grécia, 1980
- Osório J. P., *Sobre a História e Desenvolvimento da Astronomia em Portugal*, História e Desenvolvimento da Ciência em Portugal, Vol. I, Academia das Ciências de Lisboa, 1986
- Mayor M., Queloz D., *A Jupiter-mass companion to a solar-type star*, Nature, Vol 378, 1995
- Fukugita M., *The dark side*, Nature, Vol 422, 2003
- Santos N. *et al.*, *The HARPS survey for southern extra-solar planets: A 14 Earth-masses exoplanet around μ Arae*, A&A 426, L19–L23, 2004
- ESO0515 – Science Release, *Yes, it is the Image of an Exoplanet*, 2005
- Osório, J. P., *500 Years of Astronomical Instrumentation in Portugal*, Astronomy and its Instruments Before and After Galileo, Pages 127-140, International Astronomical Union, Padova, Italy, 2009
- Ferlet, R., *Detection and characterization of extrasolar planets*, Eur. Phys. J. Conferences 1, 275-282, 2009
- Harland D., *NASA's Moon Program: Paving the Way for Apollo 11*, Springer, 2009
- Shapiro S. S., Shapiro I. I., *Gravitational deflection of light*, Einstein Online, Vol 04, 2010
- ESO1024pt – Nota de Imprensa Científica, *Exoplaneta Apanhado em Movimento*, 2010
- Maciejewski G. *et al.*, *Transit timing variation in exoplanet WASP-3b*, M. N. R. A. S., Vol 407, 2010
- Marois C. *et al.*, *Images of a fourth planet orbiting HR 8799*, Nature, Vol 468, 2010
- Keller C., *In search of biosignatures*, Nature, Vol 483, 2012
- Maire A. L., *et al.*, *Atmospheric characterization of cold exoplanets using a 1.5-m coronagraphic space telescope*, A&A 541, A83, 2012

- Boccaletti A. *et al.*, *Independent confirmation of beta Pictoris b imaging with NICI*, A&A 551, L14, 2013
- Seager S. *et al.*, “A BIOMASS-BASED MODEL TO ESTIMATE THE PLAUSIBILITY OF EXOPLANET BIOSIGNATURE GASES”, *The Astrophysical Journal*, 775:104 (28pp), 2013
- Pepe F. *et al.*, *Instrumentation for the detection and characterization of exoplanets (Review)*, Nature, Vol 513, 2014
- Burrows A., *Highlights in the study of exoplanet atmospheres*, Nature, Vol 513, 2014
- Mayor M., Lovis C., Santos N., *Doppler spectroscopy as a path to the detection of Earth-like planets (Review)*, Nature, Vol 513, 2014
- Misra A. K. *et al.*, “DISCRIMINATING BETWEEN CLOUDY, HAZY, AND CLEAR SKY EXOPLANETS USING REFRACTION”, *The Astrophysical Journal Letters*, 795: L14, 2014
- ESO1517pt – Nota de Imprensa Científica, *Primeira detecção de luz visível refletida por 51 Pegasi b: Nova técnica aponta para futuro promissor*, 2015
- Martins J. *et al.*, *Evidence for a spectroscopic direct detection of reflected light from 51 Pegasi b*, A&A 576, A134, 2015
- Hecht J., *The Light of Other Worlds*, Nature, Vol 530, 2016
- Martins J. *et al.*, *Reflected Light from Giant Planets in Habitable Zones: Tapping into the Power of the Cross-Correlation Function*, Orig Life Evol Biosph 46, Springer Science, 2016
- Schmidt T.O.B. *et al.*, *Direct Imaging discovery of a second planet candidate around the possibly transiting planet host CVSO 30*, Astronomy & Astrophysics manuscript, 2016
- Bouchy F. *et al.*, *The SOPHIE search for northern extrasolar planets: Follow-up of ELODIE candidates: long-period brown-dwarf companions*, A&A 585, A46, 2016
- Díaz R. F. *et al.*, *The SOPHIE search for northern extrasolar planets: Three new companions and an orbit update: Giant planets in the habitable zone*, A&A 591, A146, 2016
- Gillon M. *et al.*, *Temperate Earth-sized planets transiting a nearby ultracool dwarf star*, Nature, Vol 533, 2016
- Ban M. *et al.*, *The microlensing rate and distribution of free-floating planets towards the Galactic bulge*, A&A 595, A53, 2016
- Ortiz M. *et al.*, *Precise radial velocities of giant stars HD 59686 Ab: a massive circumstellar planet orbiting a giant star in a 13.6 au eccentric binary system*, A&A 595, A55, 2016
- Sahlmann J. *et al.*, *The mass of planet GJ 676A b from ground-based astrometry. A planetary system with two mature gas giants suitable for direct imaging*, A&A 595, A77, 2016
- Wit J. *et al.*, *A combined transmission spectrum of the Earth-sized exoplanets TRAPPIST-1 b and c*, Nature, Vol 537, 2016
- Charles Q. Choi, *Microbes Could Survive Thin Air of Mars*, Astrobiology Magazine, Jan 2017
- Blau S., *A gravitational-lensing measurement of the Hubble constant*, Research & Technology, Feb 2017
- Astudillo-Defru N., Santos N. *et al.*, *The HARPS search for southern extra-solar planets: A dozen planets around the M dwarfs GJ 3138, GJ 3323, GJ 273, GJ 628, and GJ 3293*, Astronomy & Astrophysics, March 2017
- Ramirez R. and Kaltenegger L., *A volcanic Hydrogen Habitable Zone*, The Astrophysical Journal Letters, 837:L4 (5pp), March 2017
- <https://astrobiology.nasa.gov/>
- <http://www.esa.int/ESA>
- <http://www.eso.org/sci.html>
- <https://www.jpl.nasa.gov/>
- <https://www.manyworlds.space>
- <https://www.nasa.gov/>
- <http://www.space-exploratorium.com/NASA-educator.htm>

(COMUNICAÇÃO APRESENTADA À CLASSE DE CIÊNCIAS
NA SESSÃO DE 20 DE ABRIL DE 2017)