



## Astronomia

### Descoberto um planeta invisível

# Encontrado no ESCURO

Uma equipa de astrónomos, com participação portuguesa, detetou um novo planeta extrassolar, o Kepler-88c, devido às perturbações que provoca no seu sistema estelar. Foi a primeira vez que se descobriu um planeta deste género com recurso a uma previsão teórica.

**N**a constelação da Lira, a uns 1100 anos-luz da Terra, uma estrela semelhante ao Sol faz-se escaltar por um planeta tão grande como Neptuno, perdendo um pouco da sua luminosidade de cada vez que este passa à sua frente. O fenómeno é importante, pois foi graças a esta perda de brilho, detetada pelo telescópio espacial Kepler, que se assinalou a presença de um corpo a orbitá-la. Acontece que a estrela, conhecida como Kepler-88, tem mais um guarda-costas a rodeá-la, o Kepler-88c, capaz de passar despercebido a alguns dos dispositivos de observação com que perscrutamos o espaço. Apesar de ser mais maciço do que o seu irmão (o Kepler-88b), só recentemente se conseguiu confirmar a sua existência, graças a trabalho efetuado por um grupo de investigadores do Laboratório de Astrofísica de Marseilha, em França.

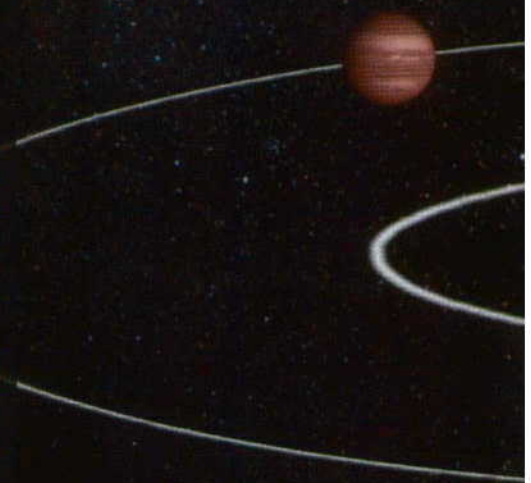
O estudo foi publicado em dezembro passado, no website do jornal *Astronomy & Astrophysics* (acessível em <http://goo.gl/ksZdyU>), com a investigadora Susana Barros a figurar como a primeira autora do artigo científico. Nele surge descrito como a equipa europeia usou o espectrógrafo francês SOPHIE para detetar e medir a massa deste novo planeta extrassolar, embora o elemento mais importante de toda esta história é que a sua existência, e algumas das suas particularidades, já tinham sido previstas a nível teórico, através do método das

variações de tempo de trânsito (conhecido pela sigla inglesa TTV). Basicamente, a análise feita pelo espectrógrafo reforçou a ideia de que é possível detetar e conhecer a massa de planetas através das perturbações gravitacionais que provocam nos seus irmãos, nomeadamente os que transitam a estrela-mãe.

Atualmente, são quatro as principais técnicas ao dispor dos caçadores de planetas: a análise das velocidades radiais (já lá iremos); o estudo dos trânsitos, em que se mede a diminuição da luminosidade de uma estrela quando um planeta passa diante dela, exigindo-se que os dois corpos estejam alinhados com a linha de visão do observador; a obtenção de imagens diretas; e a utilização de lentes gravitacionais, nas quais a distorção do espaço-tempo, causada por um objeto de grande massa que está entre a estrela e o observador, permite ver o astro luminoso. Contudo, "as mais usadas e com mais planetas extrassolares descobertos são a das velocidades radiais e a dos trânsitos", diz Susana Barros. Acontece que nem tudo o que vem à rede é peixe, como diz o adágio popular, e apanham-se muitos falsos positivos através dos equipamentos de deteção, "pelo que é importante usar mais do que uma técnica para confirmar se aquilo que estamos a observar existe mesmo". Neste aspeto, as TTV podem ter um papel fulcral.

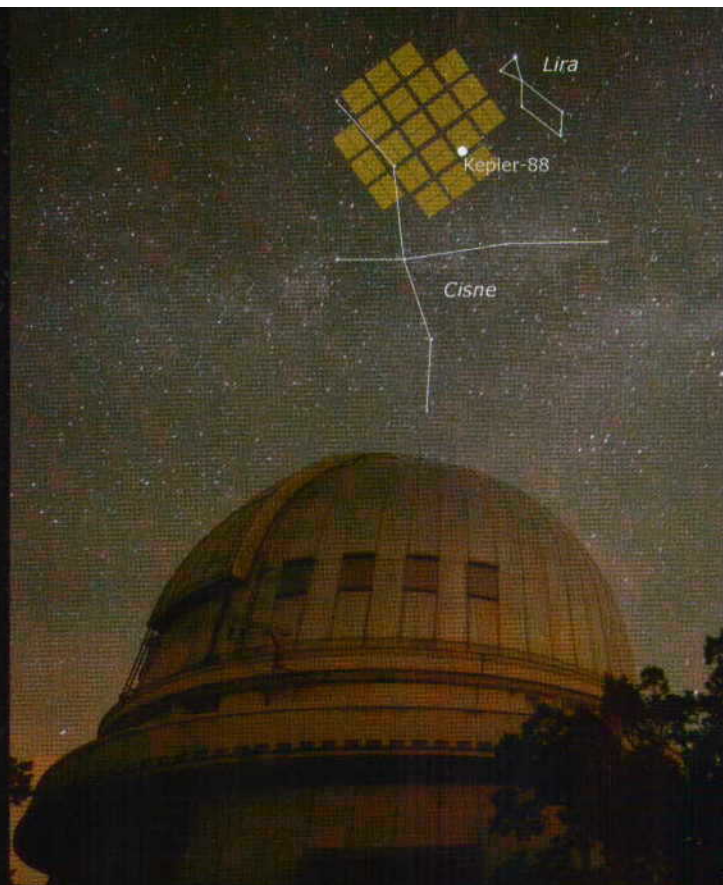
No cerne de tudo estão os dados recolhidos pelo telescópio Kepler, ao longo dos quatro

anos que durou a sua missão, escrutinando dezenas de milhares de estrelas, numa busca por indícios de trânsitos. O número de planetas extrassolares que encontrou ascende aos 200 (todos eles corroborados), mas na fila de espera está uma enorme lista com mais de 3500 candidatas, a necessitar de serem verificados e validados por outros meios. O pior é que existem muitos outros objetos que não podem ser enxergados através de uma simples vistoria aos trânsitos, pois os seus planos orbitais não estão alinhados com a Terra, tornando-os quase invisíveis (precisamente o que sucede com o Kepler-88c). Para estes casos, é mesmo preciso recorrer a outros expedientes.



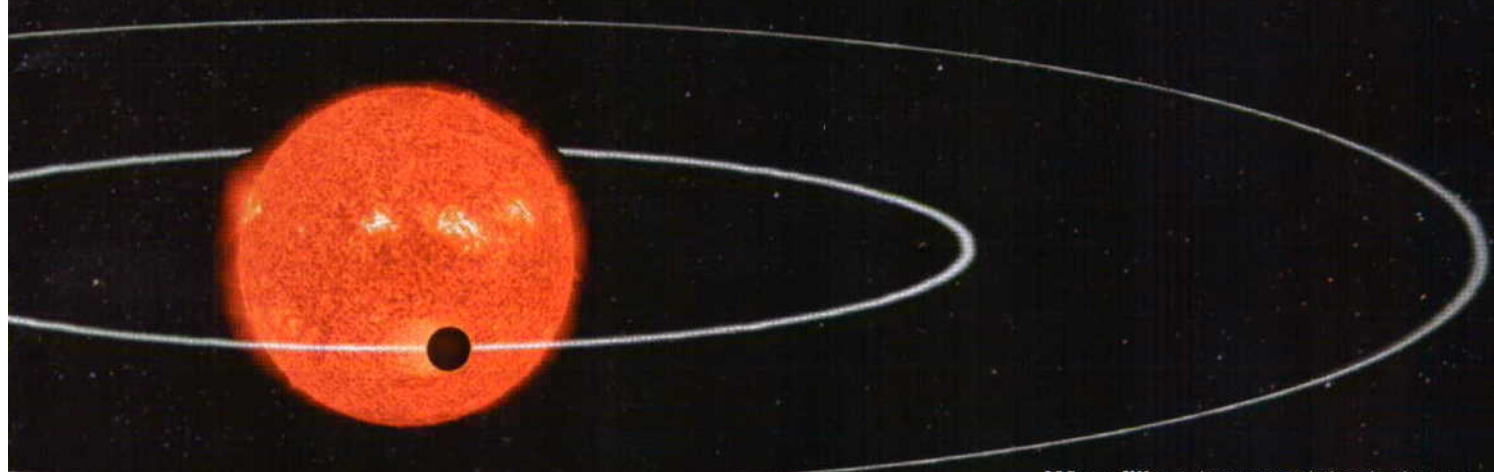
### Da Terra ao céu

Situado na constelação da Lira, o Kepler-88 foi rastreado no campo de visão (a amarelo) do telescópio *Kepler*. Em baixo, a cúpula do Observatório da Alta Provença (França), onde o espectrógrafo SOPHIE confirmou a existência do Kepler-88c.



ALEXANDRE SANTIERNE (CAUP)

ALEXANDRE SANTIERNE (CAUP) E SO SERGE BRUNIER



**Mãe e filhos.** Imagem artística do sistema Kepler-88, a 1100 anos-luz da Terra. O planeta mais pequeno (e menos maciço) que transita a estrela é o Kepler-88b, enquanto o Kepler-88c, recentemente confirmado, tem uma órbita maior.

### ÓRBITAS PERTURBADAS

Antes de esmiuçarmos o que a equipa da investigadora portuguesa analisou, recuemos até 2005, altura em que começou a ganhar consistência a possibilidade de detetar diferentes planetas extrassolares dentro de um mesmo sistema, estudando as variações de tempo de trânsito que ocasionam. Quando uma estrela tem um único planeta a girar à sua volta, o período de órbita é constante e o tempo de trânsito é periódico. Se adicionarmos a este conjunto um outro planeta, a situação muda de figura, com os dois corpos a interagirem gravitacionalmente entre si. Deste modo, o que antes era constante e periódico torna-

se variável, com o tempo de órbita (e, consequentemente, o de trânsito) a demorar umas vezes mais tempo e outras menos.

Um pormenor a ter em conta, nestes fenómenos, é que, quando temos um planeta cujo trânsito pode ser observado, consegue-se saber o seu tamanho, a inclinação e o tempo que demora a completar uma órbita, reunindo um grupo de informações que permitem determinar a sua massa. No entanto, quando não se consegue estudar o período de trânsito, é muito complicado obter estes dados. Felizmente, nas situações em que os planetas estão em ressonância uns com os outros, o método das TTV poderá ser um excelente utensílio para ul-

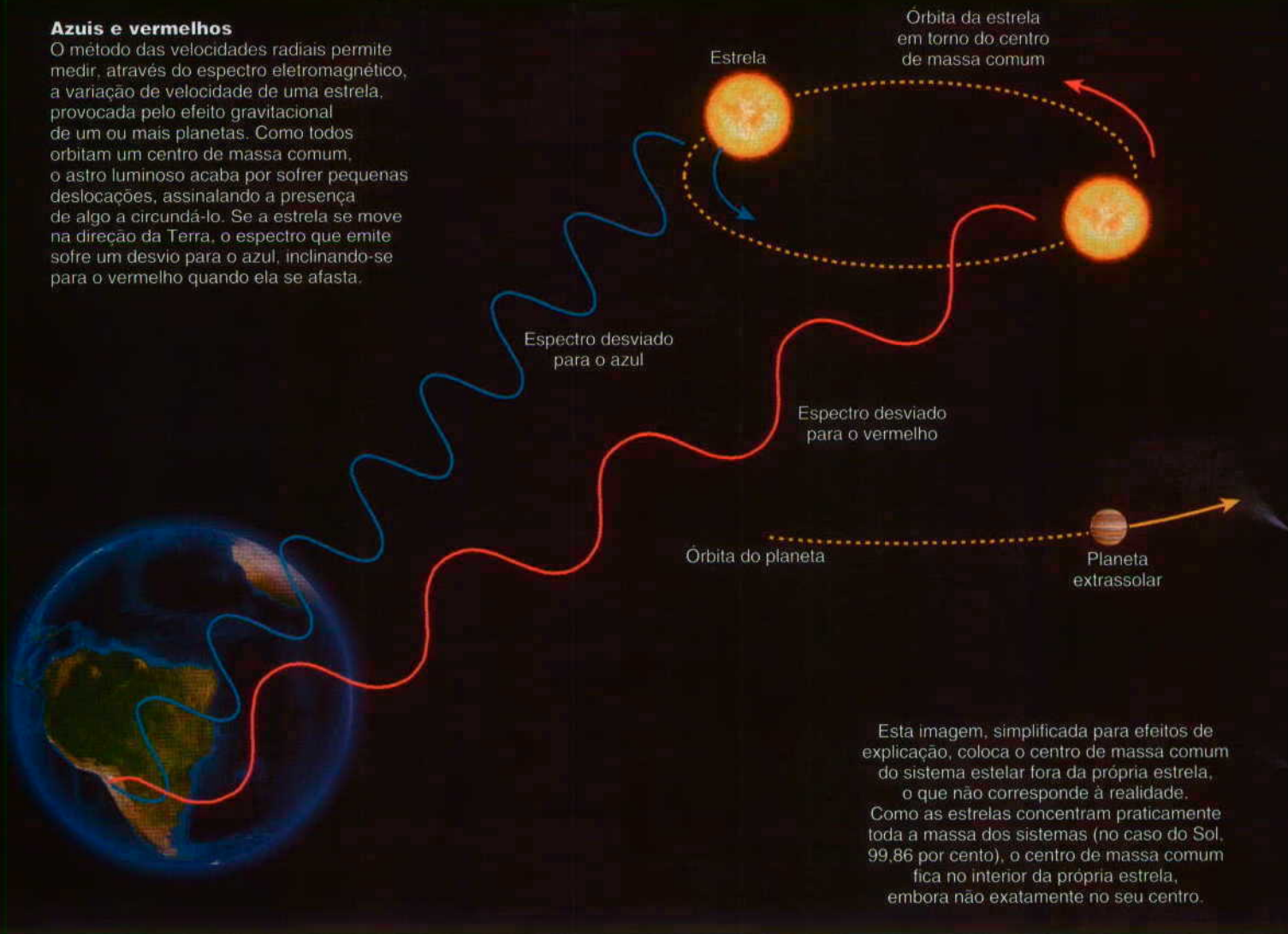
trapassar o que parece um problema bicudo.

No início de 2013, um grupo de investigadores internacionais liderados pelo checo David Nesvorný recorreu a este expediente e previu que o sistema solar Kepler-88 tinha não um, mas dois planetas: o Kepler-88b, que pode ser visto a passear-se diante da estrela que torneia, já fora detetado, mas havia indícios de que o seu período orbital era perturbado por um outro, cujo trânsito era impossível de ver. Segundo os cálculos de Nesvorný e dos seus colegas, este planeta invisível demoraria o dobro do tempo do Kepler-88b a contornar a estrela, perfazendo aquilo que os astrónomos apelidam como uma "ressonância de dois para um".



### Azuis e vermelhos

O método das velocidades radiais permite medir, através do espectro eletromagnético, a variação de velocidade de uma estrela, provocada pelo efeito gravitacional de um ou mais planetas. Como todos orbitam um centro de massa comum, o astro luminoso acaba por sofrer pequenas deslocamentos, assinalando a presença de algo a circundá-lo. Se a estrela se move na direção da Terra, o espectro que emite sofre um desvio para o azul, inclinando-se para o vermelho quando ela se afasta.



Esta imagem, simplificada para efeitos de explicação, coloca o centro de massa comum do sistema estelar fora da própria estrela, o que não corresponde à realidade. Como as estrelas concentram praticamente toda a massa dos sistemas (no caso do Sol, 99,86 por cento), o centro de massa comum fica no interior da própria estrela, embora não exatamente no seu centro.

## ► A técnica envolve a medição de diferenças de velocidade mínimas

Esta configuração é parecida com a da Terra e Marte, com o planeta vermelho a circundar o Sol em cerca de dois anos.

Em resumo: conseguiu-se prever que, por cada onze dias que o Kepler-88b demorava a completar uma órbita, o Kepler-88c faria o mesmo em 22. Como existem momentos em que ambos ficam alinhados, como se estivessem um ao lado do outro (embora em planos orbitais diferentes), os efeitos gravitacionais desencadeados vão-se acumulando e levam a que, ao fim de 630 dias, o tempo de trânsito do primeiro planeta, sofra uma variação de 24 horas. Mais especificamente, o seu tempo de trânsito, passados 315 dias, dura menos doze horas do que se não tivesse um outro corpo a perturbá-lo, enquanto nos restantes 315 dias são registadas mais 12 horas em relação ao normal. Temos, portanto, um tempo máximo e um tempo mínimo ao longo de 630 dias, com uma amplitude de 24 horas.

Entre julho e novembro de 2013, os investigadores do laboratório de Marselha realizaram onze observações através do espectrógrafo de alta-resolução SOPHIE, um aparelho que está montado no telescópio de 1,93 metros do Observatório da Alta Provença. No final, constataram que os complexos cálculos de Nesvorný estavam corretos, obtendo a primeira confirmação, através da técnica de velocidades radiais, de um planeta extrassolar "invisível" (que não transita o seu sol) previsto pelas TTV. Comprovava-se, com dados reais e concretos, o que até então era somente uma suposição teórica.

### MEDIR VELOCIDADES

Apresentando-se como o menor dos dois planetas e aquele que mais perto está da sua estrela, o Kepler-88b tem uma massa nove vezes maior do que a da Terra, um número obtido em observações anteriores. Desta vez, coube

também ao SOPHIE deslindar, com maior exatidão, um valor para o Kepler-88c, descobrindo que ele se cifra nas quase duzentas massas terrestres, cerca de dois terços da de Júpiter.

A confirmação destes dados implicou a utilização do método das velocidades radiais, medindo-se os movimentos que ocorrem na direção de quem faz a observação: aqui, a observação é feita a partir da Terra e o objeto visado é a estrela Kepler-88. A velocidade a que ela se movimenta fica impressa na radiação eletromagnética que recebemos, sendo depois decomposta através de dispositivos de difração, para se obter uma espécie de banda colorida (um pouco ao jeito do arco-íris), isto é, o seu espectro. Quando se afirma que os movimentos ficam "impressos", quer-se dizer que surge uma variação, na posição das riscas coloridas do espectro, de cada vez que a estrela se aproxima ou afasta da Terra. Esse desvio é o efeito Doppler, bastante utilizado para caçar os prevaricadores que ultrapassam o limite de velocidade na estrada.

Tendo em conta que os planetas que circundam o Kepler-88 vão influenciar o seu movimento (em qualquer sistema estelar, tudo o que ne-

## Caçador de planetas

Lançado para o espaço em 2009, o telescópio espacial *Kepler*, da NASA, tinha o objetivo de perscrutar uma certa porção da Via Láctea, com o ambicioso intuito de detetar planetas com o tamanho da Terra, nomeadamente os que estão dentro (ou perto) da zona habitável, a região em redor de uma estrela onde é possível existir água no estado líquido. Ao todo, o instrumento observou cerca de 150 mil estrelas, de forma contínua, na constelação do Cisne, da Lira e do Dragão, usando o método dos trânsitos. A missão durou pouco mais de quatro anos, estando o aparelho em modo de hibernação desde agosto de 2013, devido a falhas técnicas. Contudo, foi o tempo suficiente para detetar cerca de 200 planetas extrassolares, todos eles já confirmados, com o número a aumentar todos os meses, devido à lista com mais de 3500 candidatos que restam para validar (os mais curiosos podem acompanhar a contagem em <http://goo.gl/qYXo>). Baseando-se nos dados até agora obtidos pelo *Kepler*, os astrónomos estimam que possam existir, só na nossa galáxia, cerca de 40 mil milhões de planetas do tamanho da Terra, a orbitar a zona habitável de anãs-vermelhas ou de estrelas semelhantes ao Sol. Apesar do inegável sucesso da sonda, o problema, tal como explica Mário João Monteiro, do Centro de Astrofísica da Universidade do Porto (CAUP), é que “em termos de volume, detetou planetas numa zona muito limitada da galáxia, além de que estão demasiado longe, o que impede de os estudar melhor”. Além do mais, e precisamente devido à distância a que se encontram, torna-se “extremamente difícil confirmar muitos dos planetas detetados pelo *Kepler*”, sublinha.

O telescópio da NASA veio trazer uma maior profundidade ao trabalho desenvolvido pela *CoRoT*, uma sonda francesa, com o apoio da Agência Espacial Europeia (ESA), que procurou trânsitos em dezenas de milhares de estrelas, entre 2007 e 2012. Esta sonda detetou apenas pouco mais de vinte planetas extrassolares, enquanto o *Kepler* expandiu o seu número para a casa das centenas. Acima de tudo, permitiu aumentar, de forma muito significativa, o rol de planetas maciços que orbitam perto das estrelas, “algo que, antes do *Kepler*, estava dependente das observações por velocidades radiais, feitas a partir do solo terrestre”. Ao observar os trânsitos, o aparelho espacial fez, igualmente, um importante levantamento ao nível dos sistemas solares múltiplos, o que deu aos cientistas muito mais elementos para estudar, “ajudando a perceber melhor como os sistemas planetários se formam”. A física estelar também não foi negligenciada,



O espelho primário do telescópio espacial *Kepler*, graças ao qual já se detetaram cerca de 200 planetas extrassolares confirmados. No entanto, ainda há muitos dados para analisar.

da, porque o *Kepler* conseguiu fazer astrosismologia com a mesma ferramenta que foi usada para detetar planetas. Houve todo um conjunto de novos conhecimentos, relativos ao estudo das estrelas, que surgiram de rompante, com ênfase para as gigantes vermelhas: “É uma área que está em grande expansão, porque conseguimos obter dados de que não estávamos à espera, mas que estão a permitir melhorar, e muito, o que antes se sabia”, esclarece o investigador do CAUP. De um modo lato, a física estelar ainda era algo incerta, mas com o *Kepler* foi possível discernir melhor como evoluem as estrelas e o que acontece durante a fase em que se transformam em gigantes vermelhas, algo que acontecerá, daqui a milhares de milhões de anos, ao Sol. “Mesmo no que se refere a estrelas de diferentes massas e fases de evolução, obtivemos dados com que trabalhar durante muitos anos”, acrescenta, “pelo que a física estelar está, neste momento, no seu pico.” Na verdade, a informação disponível é bem maior do que a capacidade dos cientistas para a compreender e interpretar, pelo que se

esperam muitas novidades pela frente. Depois do *Kepler*, e enquanto se espera pelo lançamento de missões semelhantes, capazes de procurar novos planetas extrassolares, a única solução passa por raspar a catadupa de dados (e são muitos) que a máquina da NASA enviou, até porque existem muitos candidatos para confirmar, através de outras ferramentas de deteção. Na calha estão alguns projetos espaciais, como o CHEOPS, da ESA, previsto para 2017, “destinado a estudar os trânsitos de planetas que já foram descobertos pelo método das velocidades radiais”, diz Susana Barros, do Laboratório de Astrofísica de Marselha. O seu alvo são as estrelas brilhantes, o que desde logo é um trunfo valioso, esperando-se entusiasmantes “informações sobre as características dos planetas, assim como os elementos que aí existem”. Se um deles tiver as condições ideais, nomeadamente água no seu estado líquido, é quase certo que não faltarão pessoas a desejar que seja um *fac-simile* da Terra. O futuro promete.

## Milhões para o espaço

Nos últimos tempos, a Agência Espacial Europeia (ESA) tem vindo a delinear o seu programa de missões para o decénio 2015–2025, o *Cosmic Vision*, existindo alguns projetos confirmados e outros que ainda estão numa fase de candidatura. As missões estão a ser distribuídas por três grupos: as de grande envergadura (classe L), em que cada uma terá um orçamento de mil milhões de euros; as de médio tamanho (classe M), em que o bolo decresce para os 600 milhões; e um conjunto de pequenas iniciativas (classe S), cujo valor individual não pode ultrapassar os 50 milhões.

O que é necessário para um planeta se formar e despontar a vida? Como é que o Sistema Solar funciona realmente? Quais são as leis físicas fundamentais que regem o universo? Por fim, mas não menos importante, como é que o universo nasceu e de que é feito? Eis as quatro questões-chave que os astrónomos europeus querem ver respondidas, pelo menos parcialmente, com o *Cosmic Vision*.

A primeira das missões da classe L já foi escolhida, consistindo no envio de uma sonda a Júpiter. O *Jupiter Icy Moon Explorer* (JUICE) deverá ser lançado em 2022, com chegada agendada ao gigante gasoso em 2030, seguindo-se três anos de observações detalhadas do planeta e de três das suas luas, Ganimedes, Calisto e Europa. Entretanto, os temas para os dois projetos seguintes deste grupo foram fixados, com a ESA a apontar baterias para um observatório avançado de raios X, capaz de analisar o universo quente e energético, a par de uma missão que estude a gravidade no espaço. Neste último caso, buscar-se-ão ondulações gravitacionais no espaço-tempo, geradas por objetos de grande força gravítica (por exemplo, quando dois buracos negros se fundem). Contudo, ainda estão por determinar os pormenores de ambas as missões. Para a classe S, e de modo a estudar os trânsitos de planetas extrassolares anteriormente descobertos, está confirmado o *Characterizing Exoplanet Satellite* (CHEOPS), havendo expectativas de que encontre, a partir de 2017, outros objetos como a Terra.

Quanto às missões de médio porte, as preferências, por agora, recaíram sobre o *Solar Orbiter*, com ordem de lançamento para 2017, e o *Euclid* (2020). Quando estiver no espaço, a primeira destas sondas irá fazer observações muito próximas do Sol, enquanto o *Euclid*, um projeto em que estão envolvidos astrónomos portugueses, pretende investigar, como nunca

antes se fez, dois dos maiores enigmas do universo: a matéria e a energia escuras. Ainda em fevereiro, a ESA deverá escolher uma terceira missão de uma lista de cinco candidatos, nas quais figuram o *Exoplanet Characterization Observatory* (ECHO) e o *Planetary Transits and Oscillations of Stars* (PLATO), ambas com envolvimento português. O ECHO, cujo consórcio é liderado pelo Reino Unido, quer medir a composição química e a estrutura atmosférica de centenas de planetas extrassolares. Quanto ao PLATO, uma ideia alemã, propõe-se encontrar e analisar um vasto número de sistemas planetários, obrigando a examinar dez vezes mais estrelas do que o telescópio espacial *Kepler*, que se ficou por menos de 150 mil.

“O objetivo principal do PLATO passa por encontrar, através do método dos trânsitos, outros planetas semelhantes à Terra”, refere Mário João Monteiro, do Centro de Astrofísica da Universidade do Porto (CAUP). “Já tivemos missões em que se encontraram muitos planetas, mas, claramente, nenhuma delas foi desenhada para encontrar corpos semelhantes à Terra”, adianta. “Daí que a missão tenha esse intuito, pois foi feita para encontrar terras em todas as estrelas que estão próximas do Sol.”

Se este projeto espacial for aceite, não bastará que encontre candidatos, pois a grande prioridade, atualmente, passa por caracterizá-los, na tentativa de encontrar propriedades semelhantes às do nosso planeta. Para isso, terão de ser usadas, de forma combinada, as ferramentas de observação que existem em solo terrestre, como é o caso dos espectrógrafos. Na tarefa de reforçar e validar o que se está a encontrar, outras técnicas inovadoras, como o método das variações de tempo de trânsito, poderão ter aqui um papel importante a desempenhar.

“O PLATO será um passo essencial que temos de dar”, afiança o astrónomo português. “Além de ter uma precisão bastante superior à do *Kepler*, terá ainda a vantagem de poder olhar em todas as direções do céu, dando-lhe uma flexibilidade que o telescópio da NASA não tinha, pois estava fixo numa zona do espaço.”

Analisando aquilo que propõem os cinco candidatos, e tendo em conta que já foram confirmadas iniciativas que lidam com os mesmos objetivos de alguns deles, Mário João Monteiro considera que a “escolha deverá recair no ECHO ou no PLATO”. Qual deles? “Isso já depende da política e dos estados-membros que estão por detrás de cada uma das missões”, sentença.

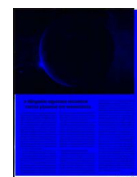
**Terá vida?** O planeta extrassolar Kepler-62f é uma superterra que orbita a zona habitável de uma estrela mais pequena e fria do que o Sol. Alguns estudos indicam que poderá ter água em grandes quantidades.

le existe orbita um centro de massa comum), é natural que se consiga desfrutar a velocidade das suas diminutas deslocações. Para o Kepler-88c, verificou-se que induzia na estrela “uma variação de velocidade de 40 metros por segundo, enquanto o outro companheiro, do qual se consegue ver o trânsito, provoca uma amplitude de dois metros por segundo”, explica Susana Barros. A título de comparação, a órbita e o efeito gravitacional da Terra provocam no Sol uma variação de velocidade na ordem dos dez centímetros por segundo, o equivalente a 0,36 quilómetros por hora.

Há que frisar, no entanto, que a variação gerada pelo Kepler-88b não foi escrutinada pelo SOPHIE (o valor já era conhecido), porque a amplitude em causa era demasiado pequena para a margem de erro em que o espectrógrafo opera, situada nos dez metros por segundo. Apesar desta limitação, os números que se obtiveram para o Kepler-88c foram suficientes para os cientistas conseguirem estabelecer um valor mínimo para a massa do planeta.

### DEPENDENTES DO KEPLER

Para confirmar uma grande parte dos planetas extrassolares que o telescópio *Kepler* encontrou, é necessário dissecar com cuidado os trânsitos produzidos de cada vez que passam à frente das bolas de gás incandescente que orbitam, “porque essas estrelas são muito



NASA AMES/JPL-CALTECH/TIM PYLE

## ► Ninguém esperava encontrar tantos planetas em ressonância

pouco brilhantes e os seus planetas demasiado pequenos para que os espectrógrafos os consigam detetar”, explica a investigadora portuguesa. Outra das vantagens de usar as TTV é que “conseguem medir-se massas parecidas com a do nosso planeta”, salienta, “já que com um espectrógrafo isso é muito difícil de conseguir, sendo apenas possível se a estrela for pequena”. Quando o *Kepler* iniciou a sua missão, não se esperava que encontrasse tantos planetas numa situação de ressonância, como sucede no sistema Kepler-88, abrindo-se uma janela de oportunidade para que os dados do telescópio espacial possam ser submetidos a uma análise baseada nas TTV, na esperança de encontrar outras novidades.

A investigação feita pelo SOPHIE veio demonstrar que é possível confiar nas previsões teóricas deste método. Todavia, quando chega a hora de o utilizar, existem algumas limitações a ter em conta. Por exemplo, é mais fácil descartar as variações de tempo de trânsito se os planetas tiverem órbitas relativamente próximas entre si e quando um dos planetas é mais maciço do que o outro (ou outros), causando perturbações no período orbital. Além

disso, não consegue obter outras informações importantes sem ser a massa dos corpos, o que torna imprescindível recorrer a outros utensílios para melhor os caracterizar.

Até agora, foi usado para determinar a massa de dezenas de planetas, prevendo-se que, nos tempos vindouros, se encontrem muitos mais com a sua ajuda. Acontece que, de momento, todas as novas descobertas estão limitadas aos dados anteriormente recolhidos pelo *Kepler*, o único instrumento a medir os trânsitos com grande precisão e ao longo de um vasto período de tempo. Conclusão: só dentro dos candidatos detetados pelo telescópio espacial é que se poderão fazer, a curto-prazo, mais confirmações.

### À ESPERA DE NOVAS MISSÕES

O sistema Kepler-9 foi o primeiro em que se confirmou, com a ajuda das TTV, os planetas (são três) que aí se encontram, tendo-se ainda medido as suas massas; a questão é que todos eles já tinham sido vislumbrados, anteriormente, por via dos seus trânsitos, não se estando perante um novo achado. A seguir, com o *Kepler-19*, temos outro momento significativo, ao inferir a existência de um segundo planeta

(o Kepler-19c); no entanto, foi impossível, até agora, descobrir o seu período orbital ou a sua massa. Em 2012, David Nesvorný previu e caracterizou, através das variações de tempo de trânsito, o planeta extrassolar Kepler-46c, mas, como ele é menos maciço do que o seu companheiro, ainda não foi confirmado por qualquer equipamento. Ao Kepler-88c, por sua vez, aconteceu quase o mesmo, com a importante diferença de ter sido agora validado, de forma independente. Um marco a registar.

O que vem a seguir é uma incógnita, mas há expectativas quanto ao que os futuros projetos de exploração espacial podem trazer. A Agência Espacial Europeia (ESA) está a definir um roteiro de missões para o decénio 2015–2025, o *Cosmic Vision*, capaz de englobar alguns projetos em que as TTV serão chamadas à baila. Um deles, ainda em fase de seleção, é o PLATO, que, a ser aprovado, “poderá ter nesta ferramenta uma grande vantagem”, diz a astrónoma do laboratório de Marselha. A missão pretende estudar dez vezes mais estrelas do que o *Kepler*, o que implica, posteriormente, uma igual multiplicação no número de pesquisas capazes de validar planetas e medir as suas massas. “Se se conseguir utilizar as TTV, muitos deles poderão ser confirmados diretamente, sem ter de fazer mais observações”, garante Susana Barros.



NASA AMES/JPL-CALTECH/TIM PYLE

**Apanhado!**

Uma equipa de astrónomos conseguiu localizar um planeta extrassolar invisível, através das perturbações causadas no sistema estelar. **Pág. 14**