

# SISTEMAS PLANETÁRIOS IV: **10** TÓPICO

## FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR E EXOPLANETAS

Enos Picazzio

### **10.1** Estrutura e Formação do Sistema Solar

**10.1.1** A Estrutura

**10.1.2** A Formação

### **10.2** Sistemas Planetários Externos (Exoplanetas ou Planetas Extrassolares)

**10.2.1** As técnicas de observação e os exoplanetas conhecidos

**10.2.1.1** Técnica Astrométrica

**10.2.1.2** Técnica da velocidade radial.

**10.2.1.3** Técnica Fotométrica

**10.2.1.4** Método de Trânsito

**10.2.1.4** Método de microlente gravitacional

**10.2.1.6** Imageamento

**10.2.3** Exoplanetas conhecidos

# 10.1 Estrutura e Formação do Sistema Solar

## 10.1.1 A Estrutura

O Sistema Solar é composto de uma estrela, oito planetas, cinco planetas-anões (número que deve crescer), centenas de satélites, milhares de asteroides e centenas de milhões de cometas, além de rocha e poeira interplanetária. Toda essa matéria mantém-se unida pela força gravitacional do Sol, o componente maior.

Podemos dizer que a massa do Sistema Solar está concentrada no Sol. Ele retém 99,8% da massa total, sendo 70,9% de hidrogênio, 27% de hélio e 2,1% de outros elementos químicos. Ou seja, o Sistema Solar é predominantemente gasoso. Essa proporção de massa entre estrela e sistema planetário é regra. Um megaplaneta tem cerca de 13 vezes a massa de Júpiter, ou 1,2% da massa do Sol. Para gerar energia por fusão nuclear uma estrela deve ter no mínimo cerca 8% da massa solar. Portanto, uma estrela é no mínimo sete vezes mais massiva que um planeta gigante.

O Sol não é apenas o objeto mais maciço do Sistema Solar, mas também o maior e o mais quente. Considerando a fotosfera como o limite aparente do Sol, ele tem 1.400.000 km de diâmetro e 5.600 K de temperatura. A massa do Sol ( $2 \times 10^{33}$  kg) é grande, assim como seu volume, por isso, a densidade solar é baixa,  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , apenas 40% maior que a da água.

A região do plano da eclíptica contida no raio de até cerca de 4 UA do centro do Sol é dominada por objetos rochosos. Nela há quatro planetas, um planeta anão (Ceres) e milhares de asteroides. O planeta mais próximo do Sol, Mercúrio, é também o menor do Sistema Solar. Vênus e Terra são muito parecidos em tamanho, massa e composição química, mas bem diferentes em condições ambientais. Vênus é muito mais quente e sua atmosfera é bem mais densa. Marte tem tamanho intermediário entre Mercúrio e Terra (ou Vênus). Sua distância média do Sol é uma vez e meia a da Terra, a gravidade em sua superfície é um terço da terrestre, é bem mais frio e a pressão atmosférica na superfície é 90 vezes menor que a terrestre. Destes quatro planetas, só a Terra tem água em abundância e nos três estados físicos (sólido, líquido e gasoso).

Entre Marte e Júpiter, há um cinturão de corpos rochosos de tamanhos e formas variadas, os asteroides. As densidades variam entre  $2,3 \text{ g/cm}^3$  (tipo argila) até  $7,7 \text{ g/cm}^3$  (liga ferro-níquel). A análise comparativa entre as densidades determinadas pela composição química e pela dinâmica (gravitação) permite dividi-los em três grupos gerais:

1. essencialmente sólidos,
2. com cerca de 20% de porosidade, e
3. com mais de 30% de porosidade.

Os mais hidratados, isto é, ricos em água, podem conter até 1% da massa em água. Grandes asteroides como Pallas e Vesta, podem conter grande quantidade de água.

A região entre 5 UA e 31 UA do Sol é povoada pelos planetas gasosos e seus satélites, e por famílias de cometas de curto período. Por similaridades de tamanho e composição química, podemos separá-los em duas duplas: Júpiter e Saturno, os maiores, e Urano e Netuno. A massa de Júpiter é maior que a soma das massas de todos os planetas do Sistema Solar.

Júpiter e Saturno são constituídos essencialmente de hidrogênio e hélio, o que lhes dá um caráter de gigantes gasosos. Proporcionalmente, Urano e Netuno têm gases mais densos, por isso, são chamados, por vezes, de gigantes congelados. Os topos das nuvens desses planetas encontram-se sob temperaturas extremamente baixas:  $-145^{\circ}\text{C}$  em Júpiter (5,2 UA),  $-175^{\circ}\text{C}$  em Saturno (9,5 UA),  $-210^{\circ}\text{C}$  em Urano (19,3 UA) e  $-220^{\circ}\text{C}$  em Netuno (30,2 UA).

Devido às massas elevadas, Júpiter e Saturno apresentam maior abundância de satélites; cerca de seis dezenas cada um. Ganimedes (Júpiter) e Titã (Saturno) são maiores que Mercúrio. Io (Júpiter) é o corpo de maior atividade vulcânica do Sistema Solar e Titã tem atmosfera mais densa que a terrestre. Os demais satélites têm superfícies congeladas e são ricos em água.

Urano e Netuno, menos massivos, têm menos satélites. Urano tem quatro satélites pouco superiores a 1.000 km de diâmetro: Ariel, Umbriel, Titânia e Oberão. Netuno tem apenas um satélite grande, Tritão, que é do tamanho de Plutão.

A região transnetuniana é vasta e pouco conhecida. O objeto mais famoso dessa região é Plutão, até pouco tempo classificado como planeta. Ele, seus e vários pequenos corpos orbitam o Sol praticamente na mesma trajetória, formando a família dos **plutinos**. Há várias outras famílias de pequenos corpos que povoam aquela região. Estes objetos todos estão dentro do Cinturão de Edgeworth-Kuiper, entre 30 UA e 50 UA, que é bem mais extenso e massivo que o cinturão principal dos asteroides. Os objetos desse cinturão são compostos de rocha, gelo e gases congelados, sobretudo hidrocarbonetos e amônia, e têm períodos orbitais da ordem de duas centenas de anos. São muito ricos em água.

Os tamanhos são diversificados, assim como as órbitas. Até o momento há quatro planetas-anões nesta região, mas a quantidade exata é desconhecida. Eris tem órbita bastante alongada, seu afélio atinge 100 UA. Sedna, um objeto com praticamente a metade do tamanho de Eris, tem afélio bem mais distante, cerca de 970 UA. Os corpos mais numerosos desta região são menores que 100 km

de diâmetro. Não sabemos exatamente quantos são, mas devem ultrapassar milhões. Os cometas de períodos curtos e médios fazem parte desta população.

A massa total encerrada no Cinturão de Kuiper pode ser menor que a da Terra. A temperatura local é da ordem de 50 K (-223° C). Até as imediações desta região, a distribuição dos corpos ocorre praticamente no plano da eclíptica, as inclinações em relação a este são pequenas. Para distâncias heliocêntricas bem maiores, acima de alguns milhares de UA, a distribuição dos corpos começa a se tornar gradativamente esférica e espessa.

Entre cerca de 30.000 UA e 100.000 UA, cometas orbitam o Sol na nuvem de Oort. Portanto, podemos admitir o limite externo da nuvem de Oort como região limítrofe do Sistema Solar. Mesmo sendo grande, essa distância equivale a um terço da distância da estrela Próxima Centauro, a mais próxima do Sol.

## 10.1.2 A Formação

Todo o Sistema Solar nasceu de uma mesma nuvem primitiva de gás e poeira, há cerca de 4,6 bilhões de anos. O processo físico pelo qual se formou deve ser o mesmo que predomina no nascimento de uma estrela.

Uma teoria satisfatória deve explicar as propriedades dinâmicas e físicas do Sistema Solar. As principais são as seguintes:

1. os sentidos de revolução e de rotação dos planetas (exceto Vênus) e da maioria dos satélites coincidem com o sentido de rotação do Sol;
2. as órbitas dos planetas (exceto Mercúrio) são quase circulares e praticamente coplanares à eclíptica;
3. as órbitas da maioria dos satélites também são quase circulares e coplanares ao equador dos seus planetas;
4. as distâncias heliocêntricas dos planetas, assim como as distâncias orbitais dos satélites, seguem uma lei de espaçamento regular;
5. juntos, os planetas apresentam momento angular<sup>1</sup> bem maior que o do Sol;
6. os cometas de períodos longos apresentam órbitas com excentricidades e inclinações diversas, ao contrário dos cometas de períodos curtos e dos demais corpos do Sistema Solar;
7. os planetas gigantes apresentam anéis;

<sup>1</sup> Quantidade de movimento angular =  $mvr$ , onde  $m$  é massa,  $v$  é velocidade orbital e  $r$  é raio.

8. adiante de Netuno há uma população de corpos pequenos com características diversificadas;
9. os planetas apresentam composição química diferenciada, relacionada com a distância heliocêntrica.

Longe de serem fortuitas, estas características decorrem do processo de formação. A primeira tentativa de explicação foi apresentada por René Descartes em 1644, antes de Isaac Newton formular a teoria da gravitação. Essa teoria foi aperfeiçoada por Emanuel Kant (1775) e Pierre-Simon de Laplace (1796). Entretanto, os avanços mais significativos surgiram apenas no século passado, graças ao aprimoramento da instrumentação astronômica, incluindo a espacial, e ao desenvolvimento teórico dos modelos de estrutura e evolução estelar.

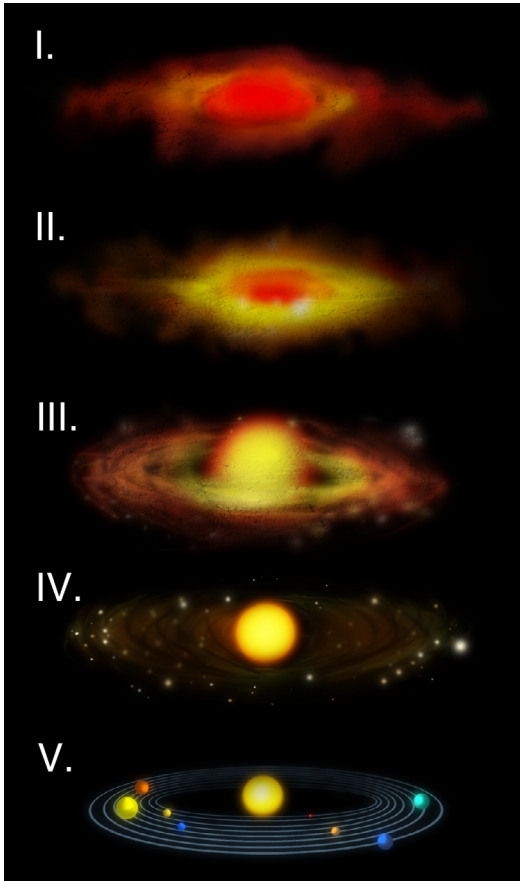
Como todas as estrelas, o Sol surgiu da contração de uma nuvem fria de gás e poeira, referenciada como Nebulosa Solar Primitiva (NSP). Durante a contração, um embrião do Sol, o **protossol**, formava-se no centro da NSP. Sua temperatura era bem menor que a atual e ele emitia radiação infravermelha. Quanto mais a nuvem se contraía, mais rapidamente ela girava. Essa rotação provocava a formação de um disco de matéria na região equatorial do protossol<sup>2</sup>. Esse sentido de rotação da nuvem é o que predominou no Sistema Solar.

<sup>2</sup>A relação entre contração e rotação decorre do princípio de conservação do momento angular. De acordo com as leis de movimento de Newton o momento angular de qualquer objeto deve permanecer constante antes, durante e depois de uma mudança física. Em outras palavras, se a distância  $r$  diminui então a velocidade  $v$  deve aumentar pois o produto  $mvr$  é constante, ou seja, ele se conserva.

Os corpos rochosos cresceram gradativamente, acumulando matéria através de colisões. Este processo é conhecido por **acrecção**. No princípio as colisões ocorriam entre grãos, que, aos poucos, iam se tornando aglomerados maiores até formarem **planetésimos**, corpos maiores que 1 km de diâmetro. À medida que a massa aumentava, a gravidade do corpo atuava com mais intensidade. Isto acelerava ainda mais o acúmulo de matéria. Nesta fase, as colisões se tornavam cada vez mais violentas. Parte das crateras formadas nas colisões ainda permanece exposta nas superfícies de planetas e satélites. Estes corpos se formaram perto do Sol, uma região quente em que predominava a composição química típica dos rochosos.

Os planetas gasosos podem ter se formado por processo diferente, denominado **instabilidade de disco**. Ele se parece mais com o processo de formação das estrelas. Essa instabilidade gravitacional no disco de matéria provoca o surgimento de grandes bolhas de gás, que acumulam matéria com muita rapidez. Este processo pode ser mil vezes mais rápido que o de acreção. A região onde se formaram os planetas gigantes era mais fria e composta predominantemente por gases. Júpiter e Saturno são compostos essencialmente de hidrogênio e hélio, como o Sol. Como grandes massas implicam campos gravitacionais intensos, estes planetas acumularam muitos satélites.

A matéria restante, que não foi acrescentada aos planetas e satélites, ficou concentrada em asteroides e cometas. A maior parte dos asteroides permaneceu no Cinturão Principal.



**Figura 10.1:** Um cenário possível para a formação do Sistema Solar. No início o material nebular estava distribuído uniformemente na nuvem. No centro da nuvem a matéria era gradativamente comprimida e aquecida: nascia o protossol. Os elementos mais voláteis foram “soprados” da região central, concentrando-se nas regiões mais frias. Aqui se formaram os planetas jovianos e os cometas / Fonte: Cepa, adaptado de R. R. Robbins, W.H. Jefferys, S.J.Shawl, *Discovering Astronomy*, John Wiley & sons, Inc, 1995.

A região diante de Netuno concentra a maior parte da sobra de material. Os planetésimos que não se agregaram aos planetas permaneceram nessa região como **objetos transnetunianos**, alguns concentrados no **Cinturão de Edgeworth-Kuiper**, outros espalhados pela região em órbitas muito alongadas (alta excentricidade) e outros, ainda, na **Nuvem de Oort**. Os cometas de curto e médio período foram formados nessa região e lá permaneceram em órbitas quase coplanares com a eclíptica. Já os cometas de longo período teriam se formado nas imediações dos planetas gigantes, mais próximos do Sol, e lançados para os confins do Sistema Solar por consequência de interações gravitacionais. Assim teria se formado a Nuvem de Oort, com sua configuração esférica.

## 10.2 Sistemas Planetários Externos (Exoplanetas ou Planetas Extrassolares)

A possibilidade de existência de outros locais que pudessem abrigar vida, planetas girando em torno de outros “sóis”, tem sido questionada há séculos. No século V a.C. os gregos Leucipo de Mileto e, posteriormente, seu discípulo Demócrito de Abdera desenvolveram uma teoria sobre a constituição da natureza, chamada “atomismo”. Segundo ela, o todo, isto é, a realidade, se compõe de partículas indivisíveis de natureza idêntica, os “átomos”, e de vácuo. Leucipo dizia:

Assim surgem os mundos. Corpos de todos os tamanhos e formas movem-se do infinito em um grande vácuo; lá eles juntam-se, rodopiam e formam um único vórtice, uns colidindo com outros, revolvendo de todas as maneiras, e começam a separar-se uns dos outros.

Assim surgem os mundos. Corpos de todos os tamanhos e formas movem-se do infinito em um grande vácuo; lá eles juntam-se, rodopiam e formam um único vórtice, uns colidindo com outros, revolvendo de todas as maneiras, e começam a separar-se uns dos outros.

Na história mais recente, em meados do século XVIII, o filósofo alemão Emanuel Kant (1724 – 1804) considerava como provável que alguns daqueles objetos difusos, na época identificados por “nebulosas”, como Andrômeda, seriam grandes concentrações de estrelas. Ele as via como outros universos e as denominou “universos-ilhas”.

Porém, somente após a década de 1920, com a discussão do tamanho da Via Láctea, é que nos conscientizamos das dimensões reais do Universo. Ele é bem maior do que pensávamos até então e estava povoado de galáxias repletas de estrelas, possivelmente rodeadas por planetas. Despontava, assim, a possibilidade de o Universo ser povoado de planetas.

Para que este raciocínio tivesse fundamento era necessário saber se a formação de planetas era um evento comum, decorrente do processo de formação de uma estrela. Como vimos, a primeira proposta teórica de formação de planetas foi formulada pelo próprio Emanuel Kant. Os detalhes desse processo só foram revelados mais recentemente, pelas pesquisas em formação estelar.

Uma característica importante desse processo é a possibilidade de formação de sistemas planetários com configurações bem diferentes do Sistema Solar. Na realidade, a configuração do sistema planetário solar é uma das inúmeras possibilidades. Sistemas com planetas bem maiores que Júpiter e/ou bem mais próximos de suas estrelas parecem comuns, como veremos na seção 10.9 (exoplanetas conhecidos).

A primeira procura sistemática de exoplanetas foi feita por Christian Huygens (1629 – 1695), documentada no final do século XVII. Porém, pode-se dizer que o início das pesquisas mais consistentes deu-se apenas no começo do século passado.

Em 1916, o astrônomo americano Edward Emerson Barnard descobriu que uma estrela pequena e avermelhada da constelação do Ofiúco, visível com auxílio de telescópio e distante de nós cerca de 6 a.l., bamboleava em torno de uma determinada posição. Essa estrela ficou conhecida como “estrela de Barnard”. Esse é o comportamento que se espera quando a estrela tem ao seu redor um ou mais corpos de massa significativa. A interação gravitacional entre os corpos força-os a girar em torno do baricentro (centro de massa) desse sistema. Visto de longe, o Sol também apresenta um bamboleio por conta da presença dos demais corpos do Sistema Solar.

A história desta estrela começa a ser desvendada cerca de quatro décadas mais tarde, quando o astrônomo holandês Peter van de Kamp (1901 – 1995) concluiu a análise das quase duas mil placas fotográficas da estrela de Barnard. Seus cálculos sugeriam a presença de um planeta com massa equivalente a 1,6 a massa de Júpiter ( $M_J$ ), girando em órbita elíptica. O refinamento desses cálculos durante décadas levaram Van de Kamp a concluir em 1982 que havia dois planetas, com massas de  $0,7 M_J$  e  $0,5 M_J$ . Esses planetas jamais foram confirmados.

Observações astrométricas posteriores, feitas com instrumentação mais potente, não confirmaram o bamboleio. De qualquer forma, esse caso continua sob investigação.

A primeira confirmação de um exoplaneta ocorreu em 1995, ano em que Van de Kamp morreu. Esse planeta foi encontrado junto à estrela 51 da constelação Pégaso. Desde então, as técnicas de observação e os instrumentos evoluíram muito. Atualmente as observações são feitas com instrumentação diversificada, variando de pequenos telescópios (de 11 cm de diâmetro) até satélites espaciais.

## 10.2.1 As técnicas de observação e os exoplanetas conhecidos

As técnicas de observação para a busca de exoplanetas são indiretas. Na realidade, procura-se pelos efeitos que esses planetas causam em suas estrelas. As principais técnicas são astrometria, velocidade radial, fotometria e imageamento.

Pela Lei da Gravitação Universal de Newton, a força gravitacional entre estrela e planeta é proporcional ao produto das massas dos dois objetos e inversamente proporcional à distância, ao quadrado, do planeta à estrela. Isto significa que estrela e planeta descrevem órbitas em torno do centro de gravidade comum desse sistema, com um mesmo período. Quanto maior a massa do planeta, ou menor a distância entre os dois corpos, maior será a força de atração gravitacional e o efeito produzido no movimento da estrela. Esse movimento da estrela afeta principalmente a posição aparente da estrela e sua velocidade radial (velocidade aparente na direção da linha de visada).

### 10.2.1.1 Técnica Astrométrica

Esta técnica avalia as alterações nas posições aparentes das estrelas, decorrentes da presença de planetas em seu entorno. Esse movimento aparente pode ser mensurado, depois de se descontar os movimentos da Terra e da própria estrela no espaço. Geralmente, a posição aparente da estrela descreve uma pequena elipse em torno do centro de gravidade do sistema. Quanto mais distante estiver o sistema planetário, mais difícil será a percepção do movimento da estrela.

O movimento elíptico da estrela é, então, analisado com base na teoria da gravitação. As equações envolvem as massas da estrela e do(s) planeta(s) e permitem obter o período do movimento. Quanto mais planetas existirem em torno da estrela, mais complicada é a análise.



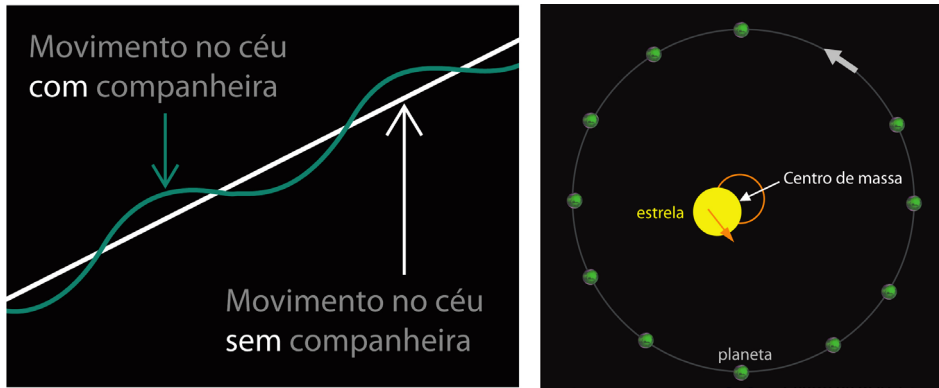


Figura 10.2: O movimento da estrela no espaço (à esquerda) e o corrigido / Fonte: Cepa

### 10.2.1.2 Técnica da velocidade radial.

Esta técnica permite medir variações na velocidade radial. Velocidade radial é a rapidez com que a estrela se move ao longo da linha de visada (linha imaginária que une observador e estrela). Na realidade a estrela move-se pelo espaço em uma direção determinada. Uma componente desse movimento é vista no plano do céu como deslocamento de posição aparente. A outra parte manifesta-se na direção da linha de visada e provoca alteração no comprimento de onda da luz da estrela, fenômeno conhecido como efeito Doppler. Quando o objeto se afasta do observador, sua luz torna-se avermelhada (por conta de um aumento no comprimento de onda). No caso oposto, a luz torna-se azulada (diminui o comprimento de onda). Esse efeito é sutil, mas mensurável. A medida se faz através do espectro de luz do objeto. O movimento da estrela em torno do centro de gravidade provoca efeito Doppler, porque ora a estrela move-se na direção oposta a do observador, ora na direção deste. A velocidade assim determinada e as leis de dinâmica de Newton permitem estimar as massas dos planetas, o tamanho das órbitas e os períodos.

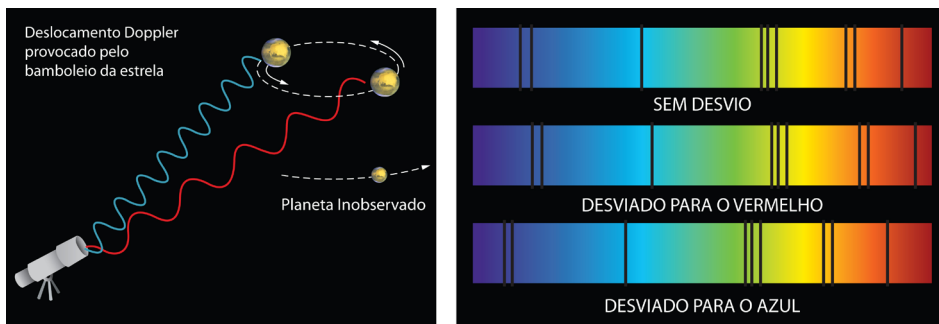
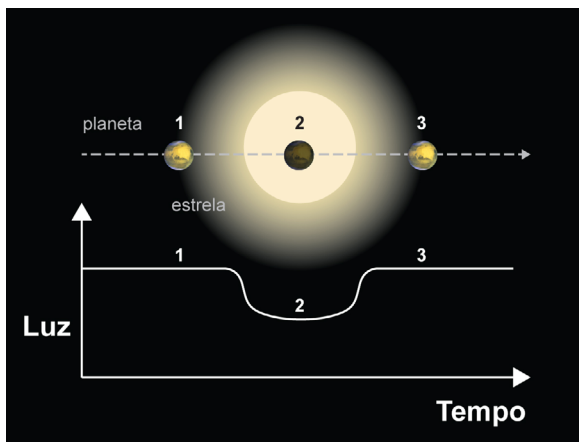


Figura 10.3: Quando a estrela se move na direção oposta do observador (se afasta) a luz é desviada para a direção da cor vermelha do espectro. No caso oposto, a luz é desviada para a direção azul do espectro / Fonte: Cepa

### 10.2.1.3 Técnica Fotométrica

Esta técnica permite medir variações sutis de brilho da estrela, provocadas pela presença dos planetas e absolutamente imperceptíveis ao olho humano. Basicamente, há dois métodos para esta técnica: trânsito e microlente.



**Figura 10.4:** Ao transitar a estrela, o planeta bloqueia parte da sua luz. Quanto maior o tamanho relativo do planeta, maior será a queda de luz / Fonte: Cepa

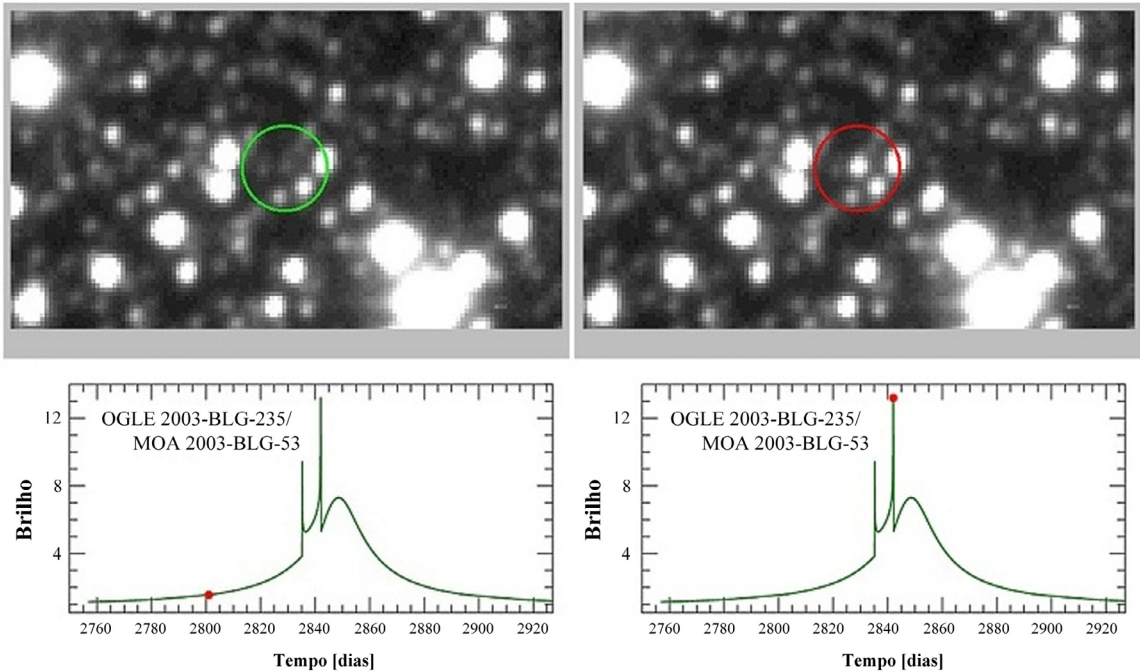
### 10.2.1.4 Método de Trânsito

Quando um planeta transita na frente da estrela, ele bloqueia uma pequena parcela de sua luz. Se o plano orbital do planeta estiver quase paralelo à linha de visada, isto é, se estiver sendo visto de perfil, o planeta se interpõe entre a estrela e a Terra, bloqueando parte da luz da estrela. Repetidos trânsitos provocam variação periódica da luz dessa estrela. Os períodos entre os picos de máximo ou de mínimo de luz representam o período orbital do planeta.

### 10.2.1.5 Método de microlente gravitacional

O efeito de microlente gravitacional, previsto por Einstein, ocorre quando duas estrelas se alinham na mesma direção. Neste caso, a estrela mais próxima atua como uma lente aumentando o brilho da estrela mais distante. É um evento raro, mas quando acontece, o alinhamento pode durar dias ou semanas. Além disso, esse evento não é repetitivo.

Se a estrela mais próxima tiver planeta, o campo gravitacional desse planeta vai intensificar a variação de brilho da estrela de fundo.



**Figura 10.5:** Imagens produzidas no observatório de Las Campanas (Chile) e mostram uma estrela que teve seu brilho aparente aumentado por decorrência do efeito de lente gravitacional provocado por um planeta 1,5 vezes mais massivo do que Júpiter, que gira em torno dela. Os gráficos mostram a variação do brilho da estrela / Fonte: Andrzej Udalski, OGLE Collaboration.

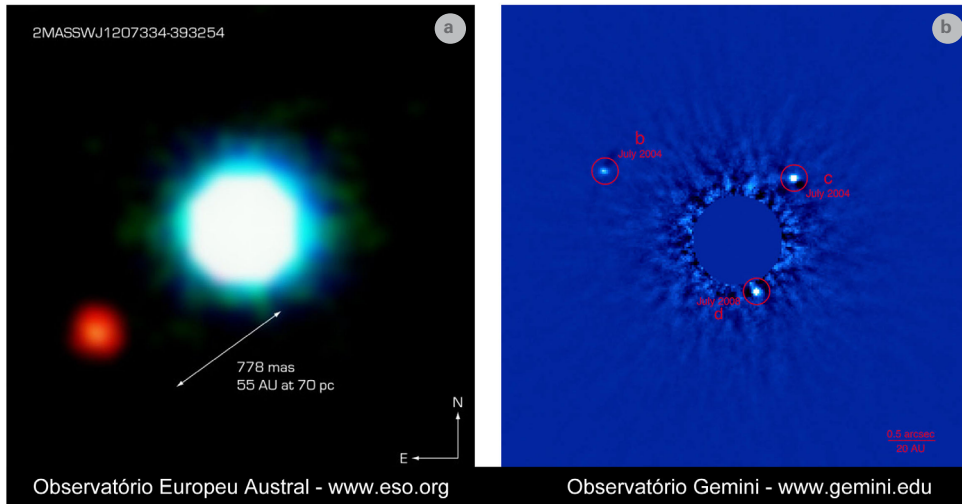
### 10.2.1.6 Imageamento

Ainda não dispomos de instrumentação potente o suficiente para fotografar planetas em torno de estrelas, na luz visível. Isto porque a luz refletida pelo planeta é pelo menos 1 bilhão de vezes mais fraca que a luz emitida pela estrela, além do que, pela distância, ele aparece muito próximo da estrela. Este problema pode ser minimizado quando o imageamento é feito na luz infravermelha. A diferença de brilho entre estrela e planeta diminui porque o planeta brilha muito mais nessa faixa do espectro e a estrela, bem menos.

A primeira fotografia surgiu em 2004, mostrando um objeto aproximadamente 5 vezes mais maciço que Júpiter, em torno de um objeto pequeno para ser estrela e grande para ser planeta. Esse objeto é chamado **anã-marrrom** e tem massa entre 13 e 25 vezes a massa de Júpiter (**Figura 10.6-esquerda**). A distância do planeta à estrela é quase a mesma que a de Plutão ao Sol.

Em outubro de 2007, foi liberada a primeira imagem de uma estrela e seu sistema planetário, onde se veem três planetas (**Figura 10.6-direita**). A estrela HR 8799 é mais jovem que o Sol,

tem cerca de uma vez e meia sua massa e luminosidade 5 vezes maior que a solar. Os planetas têm massas entre 7 e 10 vezes maior que a de Júpiter e orbitam a estrela a 25, 40 e 70 UA. Comparando com o Sistema Solar, o planeta mais distante estaria no cinturão de Edgeworth-Kuiper. Os planetas e a estrela se formaram há 60 milhões de anos.



**Figura 10.6:** a. A companheira (em vermelho) da estrela anã-marrom (centro) 2M1207. A distância da companheira à anã-marrom equivale aproximadamente a duas vezes a distância de Netuno ao Sol. b. A imagem obtida na luz infravermelha mostra três planetas em torno da estrela HR 8799 (disco escuro), cuja luz foi artificialmente subtraída para evidenciar os planetas / Fonte: a. ESO (Observatório Europeu Austral – Monte Paranal, Chile, <http://www.eso.org/public/images/eso0515a>). b. Observatório Gemini

## 10.2.2 Exoplanetas conhecidos

As descobertas de novos exoplanetas crescem rapidamente, tornando impossível manter atualizada qualquer tabela impressa. Neste caso, a melhor opção é consultar diretamente a página da **Enciclopédia de Planetas Extrassolares** (Disponível em: <http://exoplanet.eu/index.php>).

Até o início de setembro de 2010, foram catalogados 490 planetas, distribuídos em pelo menos 390 sistemas planetários. Na amostragem da **Enciclopédia de Planetas Extrassolares** são incluídos objetos com massa mais do que 13 vezes superior de Júpiter, limite de massa de um megaplaneta. Considerando essa divisão, da amostragem de exoplanetas conhecidos, 490 são exoplanetas e 20 são anãs-marrons.

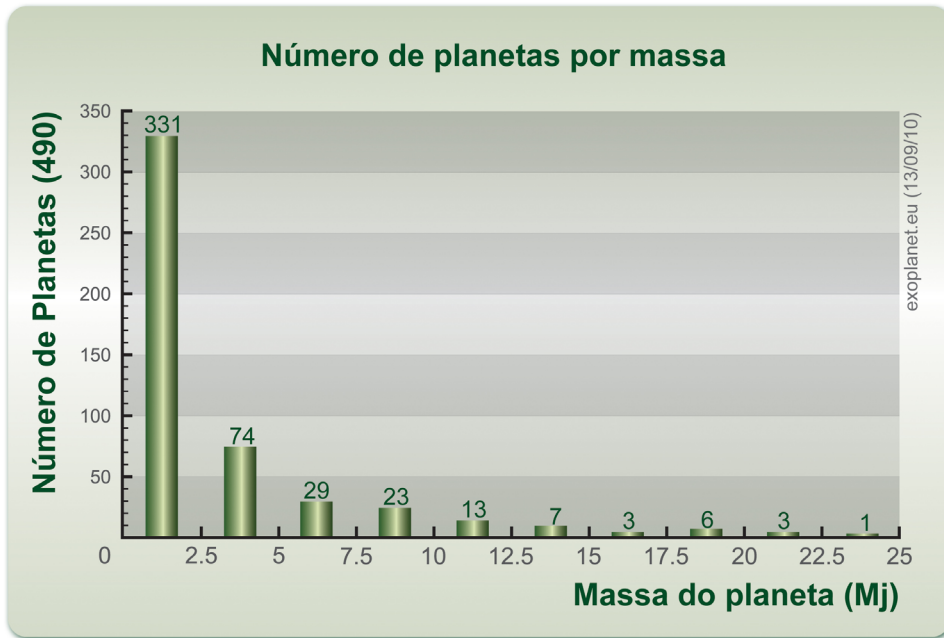


Figura 10.7: Distribuição dos exoplanetas conhecidos até 13/9/2010. A massa do exoplaneta é expressa em termos da massa de Júpiter / Fonte: Cepa

A grande maioria dos exoplanetas foi descoberta por técnica astrométrica ou de velocidade radial. Todos os exoplanetas são maiores que a Terra, a maioria é maior que Júpiter. A maioria deles está a distâncias que equivalem à região entre Marte e Saturno do Sistema Solar.

PLANETA			ESTRELA	
Massa (M <sub>J</sub> )	Tamanho (R <sub>J</sub> )	Distância da estrela (UA)	Massa (M <sub>☉</sub> )	Idade comparada à do Sol
1% < 1 1% » 1 10% de 9,1 a 10,4 20% de 10,5 a 11,7 50% de 11,7 a 13	24% menores 33% da ordem 43% maiores	4% < 0,4 10% » 1 14% < 3 31% de 3 a 9 55% > 9	4% < 1 8% » 1 61% de 1 a 3 21% de 3 a 4 5% de 4 a 4,5	21% mais jovens 23% idade solar 56% mais velhas

Tabela 10.1 - Parâmetros físicos de exoplanetas, com massa de vezes a de Júpiter, e suas estrelas. M<sub>J</sub> e R<sub>J</sub> são, respectivamente, massa e raio de Júpiter, e M<sub>☉</sub> é massa do Sol.