

# Observações de planetas extra-solares no Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira)

Nuno Pereira Santos<sup>1</sup>, Mourad Bezzeghoud<sup>1</sup>, Bento Caldeira<sup>1</sup>, Nuno Cardoso Santos<sup>2</sup>, Mário Santana<sup>1</sup>

1. Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física da Universidade de Évora

2. Centro de Astrofísica e Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

mourad@uevora.pt

## Resumo

O estudo dos planetas extra-solares tem sido uma das áreas em maior actividade na Astronomia e inclusivamente tem impulsionado estudos em áreas como a Geofísica, para uma melhor compreensão da origem e evolução dos planetas. O projecto TRANSIT, do Centro de Geofísica de Évora, desenvolve uma campanha de acompanhamento de trânsitos de planetas extra-solares, utilizando o Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira), cujos resultados apresentamos neste trabalho. Este tipo de campanhas, ainda que com equipamento modesto (pelos padrões actuais), permitem refinar os elementos orbitais dos planetas já descobertos.

## Introdução

A confirmação da existência de planetas extra-solares (planetas em órbita de outras estrelas que não o Sol) viria a dar origem a uma das áreas de maior actividade na Astronomia actual. A investigação nesta área tem inclusivamente impulsionado estudos em outras áreas, tais como o desenvolvimento de novos equipamentos e técnicas para detecção de planetas extra-solares ou a Geofísica interna – esta última, na tentativa de explicar a relação massa-raio para planetas e a sua composição. São actualmente conhecidos mais de 700 planetas, na sua maioria em sistemas com apenas um planeta. Existem no entanto vários sistemas multiplanetários identificados.

Para a maioria destes planetas, que foram descobertos através do método das velocidades radiais, apenas temos estimativas para a sua massa mínima:

$M_{P-obs} = M_p \sin i$ , onde  $M_{P-obs}$  é a massa do planeta observada,  $M_p$  a massa real do planeta e  $i$  a inclinação da órbita relativamente ao plano do céu. A massa real do planeta  $M_p$

é igual à massa mínima no caso de  $i = 90^\circ$  e nesta situação o planeta exibiria trânsitos centrais, ou seja, o planeta passaria em frente ao disco da estrela como visto por nós. A partir das velocidades radiais não temos assim informação directa sobre o raio do planeta  $R_p$  e conseqüentemente sobre a sua densidade média, que nos forneceria pistas acerca da constituição do planeta. É aqui que o método dos trânsitos planetários se torna uma ferramenta crucial para o estudo de planetas extra-solares, permitindo obter estimativas dos parâmetros acima referidos, e desta forma é possível estabelecer já modelos da estrutura interna desses planetas. Recentemente foi realizada uma campanha de observação de trânsitos de planetas extra-solares, recorrendo ao Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira).

## O Observatório de Fronteira

O Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira) (Fig. 1), inaugurado a 4 de Julho de 2008, tem como principal objectivo a divulgação da Astronomia, quer junto das escolas, quer do público em geral, procurando também servir como ponto de atracção turística no conselho de Fronteira. Na lista dos vários equipamentos disponíveis para actividades de divulgação, encontra-se o telescópio principal do observatório, de 35 cm de diâmetro, e sendo certo que é um diâmetro pequeno pelos padrões actuais da Astronomia moderna, é já um equipamento muito utilizado em aplicações de Astronomia amadora avançada e perfeitamente capaz de observar as pequenas diminuições de fluxo nas estrelas enquanto um planeta gigante as transita. Este telescópio é suportado por uma montagem ParamountME

computorizada, sendo as imagens obtidas através de um sensor CCD SBIG ST-10XME. A focagem é também assistida por um focador automático (Figs. 2 e 3).



Fig. 1 - Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira).



Fig. 2 - Telescópio e montagem computadorizada do Observatório Astronómico de Fronteira utilizados no projecto TRANSIT (FCT).



Fig. 3 - Sensor CCD utilizado na obtenção de dados de trânsitos planetários.

## O método dos Trânsitos

Suponhamos que em torno de uma estrela existe um planeta que a orbita, e que o plano orbital do planeta é tal que, periodicamente, o planeta passa em frente ao disco da estrela. Tal situação acontece quando o plano da órbita está muito próximo da perpendicular ao plano do céu. Certamente, muitos leitores recordar-se-ão do trânsito de Vénus, a 8 de Junho de 2004, em que foi possível observar a passagem deste planeta pelo disco solar, e que serve de certa forma para ilustrar o fenómeno dos trânsitos planetários.

Contudo, a enorme distância que nos separa das estrelas não nos permite observar directamente a travessia do planeta pelo disco estelar, pois a dimensão angular desta é muitíssimo inferior à capacidade de resolução de qualquer telescópio actual. Ainda assim, quando o planeta se encontra em frente ao disco estelar, irá obstruir parte da luz da estrela e consequentemente irá ocorrer uma diminuição do fluxo estelar. Este fenómeno vai-se repetir periodicamente, com um período igual ao da órbita do planeta. Se a estrela fosse representada por um disco de brilho uniforme de raio  $R_s$  e o planeta por um disco opaco de raio  $R_p$ , um modelo para descrever as quedas de fluxo da estrela teria apenas que ter em conta a distância  $z$  entre o centro da estrela e o centro do planeta (em raios da estrela) e a razão  $p$  dada por  $p = R_p / R_s$  (Fig. 4).

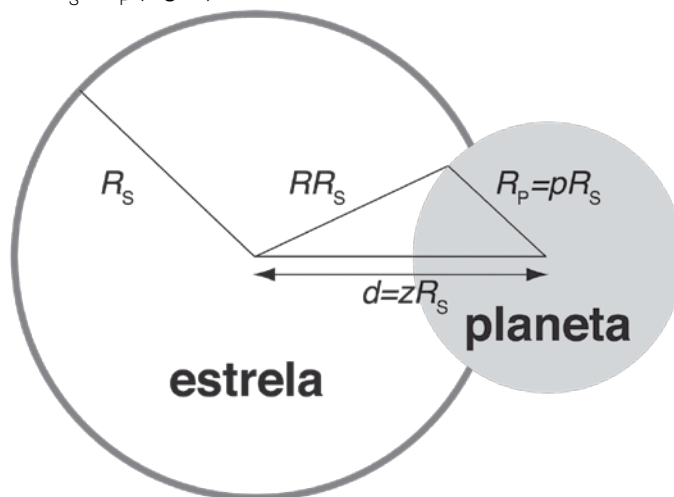


Fig. 4 - Perspectiva de um trânsito a partir do ponto de vista do observador. (Mandel & Agol, 2002 [2])

Mas na realidade, as estrelas não são discos uniformes, e para uma melhor descrição dos trânsitos, deve ser tido em conta o escurecimento do bordo estelar. Este escurecimento é descrito por várias leis empíricas, mas nos nossos modelos utilizamos apenas uma lei quadrática que utiliza dois coeficientes  $\mathbf{y}_1$  e  $\mathbf{y}_2$  [1] relacionados com as propriedades físicas da estrela observada. Estes permitem-nos determinar a intensidade de um dado ponto no disco estelar com precisão suficiente.

A curva de luz que descreve a queda de fluxo [2] durante o trânsito é parametrizada em função de  $p$  e da distância entre os centros do planeta e da estrela,  $z$  (Fig. 5). No entanto, os dados referentes às observações de trânsitos não tem informação sobre o parâmetro  $z$ , tem apenas informações

sobre o instante  $t$  em que cada observação foi adquirida. É então necessário modelar também a órbita planetária que para cada instante  $t$  gera o parâmetro  $z$ , que melhor descreve a queda de fluxo observada. Se se utilizar apenas dados de trânsitos planetários somente podemos obter informação acerca do valor  $p$ , do instante em que ocorre o meio do trânsito e da inclinação  $i$  da órbita em relação ao plano do céu.

A grande vantagem do método é que, quando utilizado em simultâneo com observações de velocidades radiais das estrelas, permite descrever completamente o sistema, obtendo a sua massa e, por exemplo, informações acerca da excentricidade do planeta.

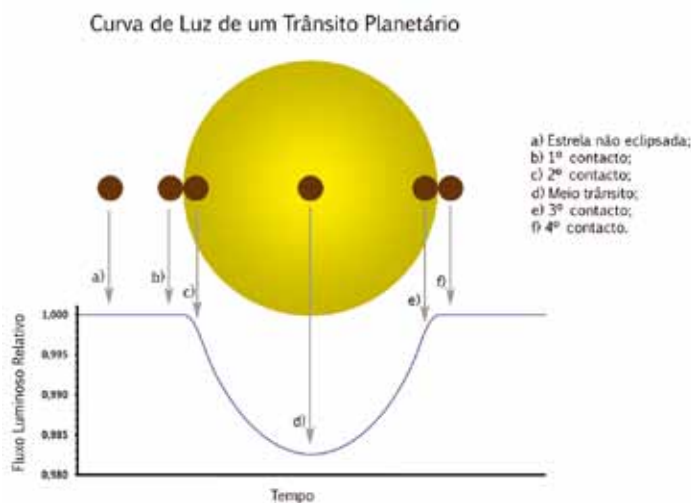


Fig. 5 - As diferentes fases de um trânsito planetário e correspondente curva de fluxo estelar normalizado.

### Observações em Fronteira

A primeira observação de um trânsito planetário no Observatório de Fronteira foi realizada a 27 de Agosto de 2009, após a realização de uma sessão de “Astronomia no Verão” (programa anual da FCT). Esta observação realizou-se após meses de espera enquanto se resolviam problemas técnicos, e por esse motivo, embora o trânsito já tivesse começado, decidimos tentar uma observação da estrela HD189733. Foi obtida uma sequência de 280 exposições do campo em redor da estrela e em cada uma destas imagens foi realizada fotometria diferencial entre a HD189733 e algumas estrelas de calibração próximas. Desta observação resultou a curva de luz da Fig. 6, onde se pode observar a queda de fluxo ao longo do trânsito, ainda que este tenha sido captado apenas parcialmente.

Os trânsitos observados têm durações típicas entre 1 e 3 horas com quedas de fluxo da ordem de 1 a 3% do fluxo estelar, o que torna as observações destes susceptíveis a erros nas medições, provenientes quer de variações de visibilidade por motivos atmosféricos, quer devido à variação de altura da estrela em relação ao horizonte. Esta variação de altura ao longo do trânsito significa que a luz da estrela atravessa diferentes massas de ar, e à semelhança do Sol que parece menos brilhante ao pôr-do-sol do que quando alto no céu, também as estrelas apresentam este comportamento. Este pode conduzir a situações de extinção

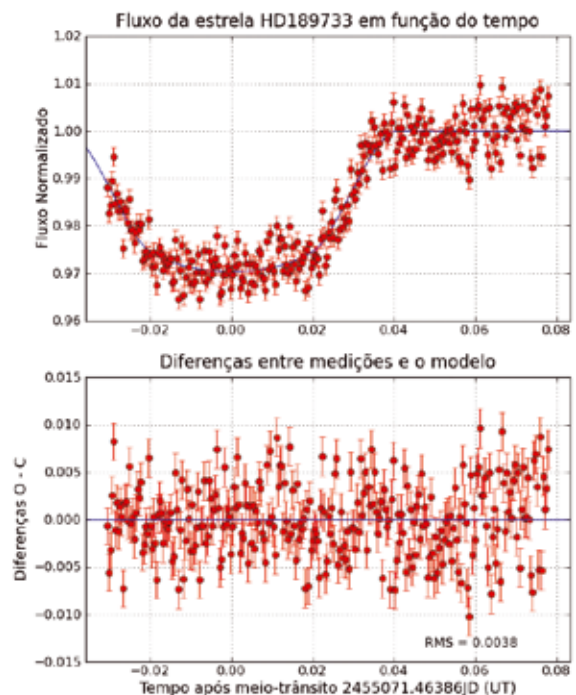


Fig. 6 - Trânsito parcial do planeta HD189733b na noite de 27-28 de Agosto de 2009 e correspondente curva ajustada.

diferencial entre as estrelas de calibração e a estrela medida, resultando em maiores erros na medição. No total foram obtidos 21 trânsitos de planetas extrassolares dos quais se destacam o trânsito do planeta WASP-10b e do planeta CoRoT-1b (figuras 7 e 8, respectivamente). Nas figuras a linha azul representa a curva de luz resultante do modelo que melhor descreve o planeta em questão. Na Tabela 1 encontram-se resumidos os parâmetros do modelo para cada planeta.

Os parâmetros obtidos podem ser comparados com os dados disponíveis na “Enciclopédia dos Planetas Extra-solares” [4]. Verifica-se uma ligeira diferença entre os valores obtidos e publicados, que se deve muito provavelmente ao ruído existente nas observações resultante do relativamente modesto diâmetro do telescópio de Fronteira.

A ocorrência de trânsitos é prevista com base na página da Associação Astronómica Checa “Extrasolar Planet Database” [5], que serve igualmente de base de dados para observações realizadas por astrónomos amadores de todo o mundo. Mais recentemente, a previsão de trânsitos foi também implementada numa rotina em linguagem Python, a qual tem igualmente servido para a previsão e comparação com os tempos obtidos.

O ajuste é feito recorrendo ao método Nelder-Mead Simplex [3] e as rotinas foram programadas em linguagem Python, tendo por base modelos já desenvolvidos para a descrição de trânsitos planetários. Os cálculos dos erros nos parâmetros obtidos estão igualmente implementados nas rotinas de ajuste.

Dos trânsitos registados destacam-se ainda dois

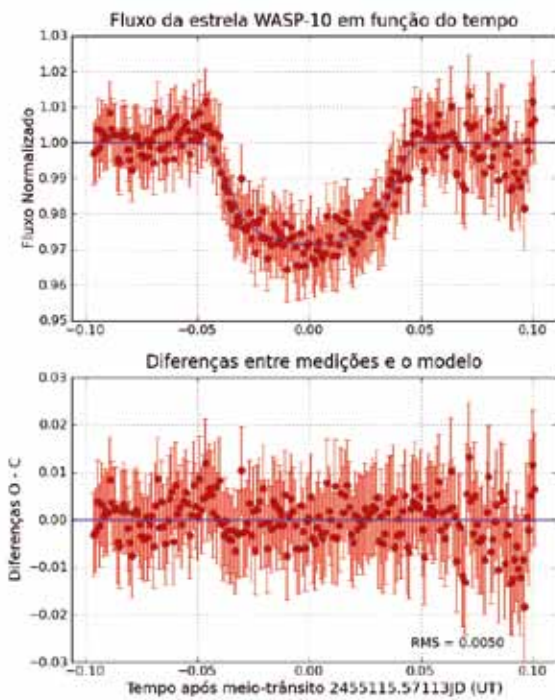


Fig. 7 - Trânsito do planeta WASP-10b na noite de 10-11 de Outubro de 2009 e correspondente curva ajustada.

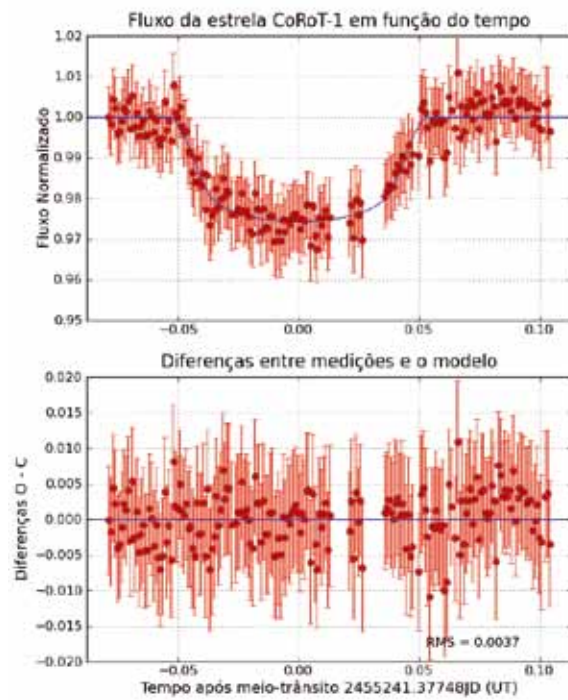


Fig. 8 - Trânsito do planeta CoRoT-1b na noite de 13 de Fevereiro de 2010 e correspondente curva ajustada.

Planeta	HD189733 b	WASP-10 b	CoRoT-1 B
Período (dias)	2.2185733	3.0927616	1.508969
Massa ( $M_{Jup}$ )	1.130	3.060	1.0300
Raio ( $R_{Jup}$ )	1.2276	1.2045	1.6021
$\rho$	0.1602	0.1582	0.1485
Inclinação (°)	85.3156	86.6855	85.6134
Duração do trânsito (minutos)	113.09	139.40	154.71
Meio-trânsito	2455071.46495 JD 2009/8/27 23:09:31 TU	2455115.57141 JD 2009/10/11 01:42:50 TU	2455241.37827 JD 2010/2/13 21:04:42 TU
Filtro	R	V	V
N.º exposições	280	222	184

Tabela 1 - Parâmetros do modelo ajustados para cada um dos trânsitos observados. Os valores de período e massa do planeta foram retirados de [4].

obtidos com recurso a um Filtro I (infravermelho próximo) das estrelas HD189733 e GJ1214 (figuras 9 e 10, respectivamente). Realçamos que, em virtude do trânsito da HD189733 ter sido captado completamente nesta observação, o ajuste já determinou os parâmetros orbitais em concordância com os valores publicados (comparar com resultados da Tabela 1). Notamos ainda que o planeta que orbita a estrela GJ1214 é possivelmente uma Super-Terra (em contraste com todos os outros que são gigantes gasosos) e também obtivemos resultados em concordância com os valores publicados. Para os leitores interessados em saber mais sobre a

campanha fotométrica e sobre o Projecto TRANSIT, podem consultar a página na internet onde estão publicados os resultados das observações<sup>1</sup>.

#### Referências

- [1] A. Claret, *Astronomy and Astrophysics* 363, 1081 (2000).
- [2] K. Mandel, E. Agol, *Astrophysical Journal*, 580, L171 (2002).
- [3] W. H. Press et al. "Numerical Recipes in FORTRAN77", Cambridge University Press (1992).
- [4] "Enciclopédia dos Planetas Extra-solares" <http://exoplanet.eu/>
- [5] "Extrasolar Planet Database" <http://var2.astro.cz/ETD/>
- [6] João Gregório, "Página pessoal de João Gregório", <http://www.atalaia.org/gregorio/exoplanetas.php>

<sup>1</sup> <http://www.transit.cge.uevora.pt>

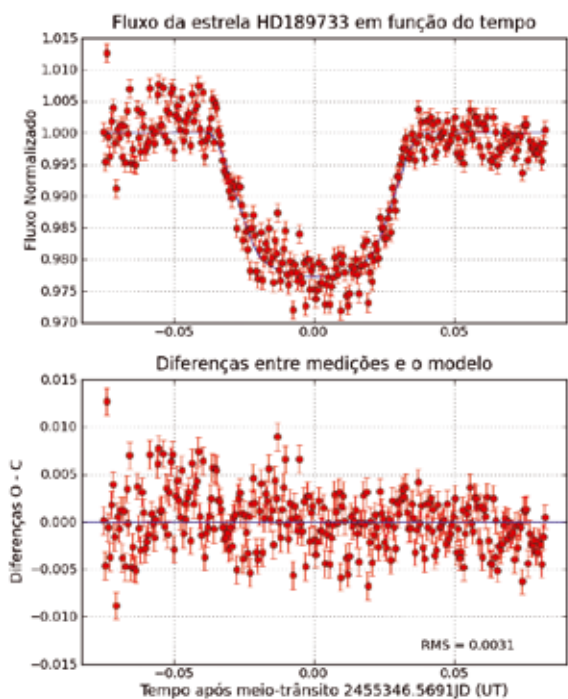


Fig. 9 - Trânsito do planeta HD189733b na noite de 29-30 de Maio de 2010 e correspondente curva ajustada.

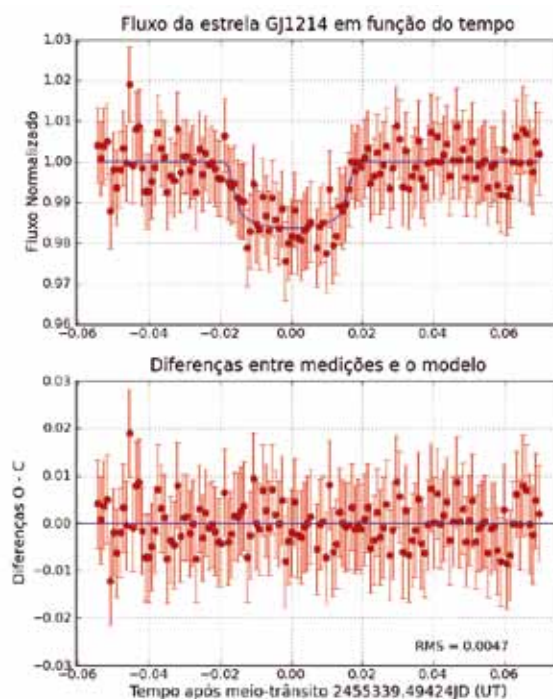


Fig. 9 - Trânsito do planeta GJ1214b na noite de 22-23 de Maio de 2010 e correspondente curva ajustada.

Planeta	HD189733 b	GJ1214 b
Período (dias)	2.2185733	1.580393
Massa ( $M_{Jup}$ )	1.130	0.0179
Raio ( $R_{Jup}$ )	1.1240	0.2454
$p$	0.1467	0.1196
Inclinação (°)	85.1323	88.9128
Duração do trânsito (minutos)	108.62	54.16
Meio-trânsito	2455346.56912 JD 2010/5/30 01:39:32 TU	2455339.49418 JD 2010/5/22 23:51:37 TU
Filtro	I	I
N.º exposições	290	139

Tabela 2 - Parâmetros do modelo ajustados para cada um dos trânsitos observados recentemente. Os valores de período e massa do planeta foram retirados de [4].

## Agradecimentos

Este trabalho é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (MCTES, Portugal) no âmbito do projecto TRANSIT (PTDC/CTE-AST/66643/2006). Agradecemos a colaboração prestada pela Câmara Municipal de Fronteira ao ceder o Observatório Astronómico da Ribeira Grande, para utilização na campanha fotométrica do projecto. Agradecemos ainda a João Gregório [6], astrónomo amador português, cuja experiência na observação de trânsitos planetários e conselhos úteis foram de grande utilidade para a melhoria da fotometria realizada. O Observatório Astronómico da Ribeira Grande (OARG), em Fronteira tem as portas abertas para visitas e sessões de divulgação no domínio da Astronomia.



**Nuno Pereira Santos** é finalista da licenciatura em Física na Universidade de Évora (2011). Bolseiro da FCT, integrou a equipa do projeto TRANSIT, financiado

pela FCT e liderado pelo Centro de Geofísica de Évora da Universidade de Évora onde desenvolveu investigação na área de Astronomia, tendo desenvolvido as observações de planetas extra-solares no Observatório de Fronteira com financiamento do Município de Fronteira. Desde muito cedo se interessou pela Astronomia, tendo sido o vencedor das Olimpíadas de Nacionais Astronomia 2006-2007.



**Bento Caldeira** é licenciado em Física pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; Mestre e Doutoramento em Física pela Universidade de Évora, é professor no Departamento de Física da Universidade de Évora e investigador

no Centro de Geofísica de Évora. Integra vários projetos de investigação nacionais e internacionais na área da Geofísica Interna (Sismologia, Risco sísmico e aplicação de métodos geofísicos à Arqueologia). Em complemento à atividade no ensino superior e na investigação desenvolve trabalho com professores e estudantes de Física do Ensino Secundário.



**Mourad Bezzeghoud** é licenciado em Eng. Geofísica pelo Inst. Nat. des Hydrocarbures et de la Chimie (Argélia, 1981), possui um mestrado (DEA) em Geofísica interna e Geoquímica e um doutoramento na área da Sismologia (U. Denis Diderot, Paris, 1987).

Realizou a agregação em Ciências da Terra e do Espaço (2011) na U. de Évora. Foi docente na U. Pierre et Marie Curie (Paris, 1986-88), investigador e Diretor de Depto. no Centre en Astronomie, Astrophysique et Géophysique de Argel (1988-94) onde fundou o Depto. de Sismologia e liderou a instalação das primeiras redes sísmica telemétrica e geodésica em Argélia. Foi professor/investigador convidado na École National des Mines de Paris (1985), na U. Complutense de Madrid (1996 e 2010) e na École Normal Supérieure de Paris (2011). É investigador no CGE desde 1997 e professor associado no Depto. de Física da U. Évora desde 2003, onde desempenha vários cargos de coordenação e de direção. É vice-diretor do CGE desde 2003 e lidera o grupo de investigadores no domínio da Terra Sólida do mesmo centro. Dedicou a sua investigação à Geofísica/Sismologia, nomeadamente ao estudo do fenómeno sísmico e ao risco a ele associado. Tem publicado vários trabalhos na área da Sismologia e Sismotectónica, nomeadamente estudos sobre os processos de rutura sísmica na região Ibero-magrebina.



**Nuno C. Santos** é licenciado em 1996 em Física pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e mestre em Astronomia e Astrofísica pela mesma Universidade (1998).

Doutorado (2002) na área da procura e estudo de planetas extra-solares na Universidade de Genebra, Suíça. Entre 2003 e 2007 integrou o Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa e o Centro de Geofísica de Évora (2006-2007). Desde 2007 é investigador no Centro de Astrofísica da Universidade do Porto e no Departamento de Física e Astronomia da FCUP, liderando um grupo com 7 doutorados e 9 estudantes de doutoramento a trabalhar na procura e estudo de exoplanetas.



**Mário Santana** é licenciado em Física pela Universidade de Évora em 2010. Bolseiro da FCT, integrou a equipa do projeto TRANSIT, financiado pela FCT e liderado pelo Centro de Geofísica de Évora da Universidade de Évora onde desenvolveu investigação

na área de Astronomia, com resultados apresentados em congressos. Atualmente frequenta o Mestrado de Astrofísica e Instrumentação para o Espaço na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Coimbra.