

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
OBSERVATÓRIO DO VALONGO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA

Altair Ramos Gomes Júnior

*Aplicações Astrométricas e Fotométricas para o Estudo do
Sistema Solar Exterior*

Rio de Janeiro

2015

Altair Ramos Gomes Júnior

*Aplicações Astrométricas e Fotométricas para o Estudo do
Sistema Solar Exterior*

Tese apresentada ao Curso de Astronomia da UFRJ,
como requisito parcial para a obtenção do grau de
DOUTOR em Astronomia.

Orientador: Marcelo Assafin

Professor Doutor

Rio de Janeiro

2015

Gomes Júnior, Altair Ramos

Aplicações Astrométricas e Fotométricas para o Estudo do Sistema
Solar Exterior / Altair Ramos Gomes Júnior - 2015

160.p

Astrometria. I.Título.

CDU 521.9

Altair Ramos Gomes Júnior

*Aplicações Astrométricas e Fotométricas para o Estudo do
Sistema Solar Exterior*

Tese apresentada ao Curso de Astronomia da UFRJ,
como requisito parcial para a obtenção do grau de
DOUTOR em Astronomia.

Aprovado em Junho de 2015

BANCA EXAMINADORA

Marcelo Assafin

Professor Doutor

Primeira Pessoa

Doutor

Segunda Pessoa

Doutor

Terceira Pessoa

bacharel

Quarta Pessoa

licenciado

Resumo

O estudo da estrutura e evolução do Sistema Solar tem muita importância atualmente, por exemplo, na compreensão dos mecanismos de formação dos planetas de outras estrelas (exoplanetas), trazendo em seus desdobramentos valiosas informações quanto a viabilidade de formação de ambientes que comportem vida.

Praticamente cada satélite é um problema particular de Mecânica Celeste. Dessa forma, a observação de seus movimentos é muito útil por razões teóricas. A preparação e realização de missões espaciais para alguns planetas, e mesmo alguns satélites, como Titã de Saturno ou os Galileanos de Júpiter, requer observações frequentes e posições muito acuradas de todos os satélites do sistema planetário visitado.

Os satélites irregulares de planetas gigantes, principalmente de Júpiter e de Saturno, são substancialmente menores do que os satélites regulares e possuem órbitas mais distantes, excêntricas, inclinadas e, na maioria dos casos, retrógradas. Explicar a existência dos satélites irregulares dos planetas gigantes é um estudo interessante em dinâmica orbital.

É amplamente aceito que eles, devido à configuração orbital, foram capturados por seus planetas. Porém, ainda não são certos a origem e o método de captura desses objetos embora as teorias mais prováveis sejam a de arrasto gasoso durante a formação do Sistema Solar e a captura de três corpos.

A maioria dos satélites formam famílias com características orbitais semelhantes sugerindo uma evolução dada por colisões. A compreensão desses mecanismos nos fará entender melhor o nosso próprio sistema solar e, possivelmente, de sistemas extra-solares.

Com o pacote astrométrico PRAIA o tempo empregado na redução de grandes quantidades de imagens foi diminuído significativamente. Os objetivos científicos dos nossos programas observacionais agora tem sido atingidos em curtíssimo prazo, em consonância com a atual demanda astronômica e astrofísica de nossa área.

Em uma base de dados com mais de 100 mil imagens obtidas entre 1992 e 2012 no telescópios de 1.2m do Observatoire de Haute Province, França, e nos telescópios Perkin-Elmer, Boller & Chivens e Zeiss no Observatório do Pico dos Dias, mais de 4 mil contem satélites irregulares de Júpiter e Saturno. Reduzir essa grande quantidade de

observações com precisão só foi possível com a utilização do PRAIA. Como é possível ver nos resultados obtidos, os offsets de posição refletem o erro natural da astrometria e o erro das efemérides dos satélites mais fracos, e sugerem que podemos efetivamente contribuir para que novas integrações numéricas forneçam posições mais precisas. Essas novas efemérides irão permitir que ocultações estelares por esses objetos possam ser preditas com maior precisão. A observações dessas ocultações permitirão um maior conhecimento das propriedades físicas dos satélites.

Palavras-chave: Astrometria, Satélites Irregulares de Júpiter, Satélites Irregulares de Saturno

Sumário

1	Introdução	4
2	Ocultações	5
2.1	Ceres	5
2.2	Satélites Irregulares	6
2.3	TNOs	6
3	Astrometria de Netuno e Tritão	8

1 Introdução

O estudo de objetos como TNOs, Centauros e Satélites Irregulares (remanescentes relativamente inalterados da formação do sistema solar) nos ajudam a compreender a formação e evolução do Sistema Solar. Atualmente, é aceito que TNOs e Centauros tenham sido formados nas partes mais internas do sistema solar. Eles teriam então sido colocados em suas posições atuais devido a troca de momento angular entre os planetas e planetesimos quando da migração dos planetas gigantes. A evolução se deu de tal forma que a passagem dos planetesimais e planetas por zonas de ressonância de movimento médio redefiniu as órbitas desses corpos (Tsiganis et al., 2005).

Sabe-se que poucas sondas espaciais foram enviados para estudar o Sistema Solar Externo e que a quantidade de objetos estudados é muito pequena. Por isso, ainda hoje, as observações de solo tem se mostrado de grande importância.

Os sistemas de Júpiter e Saturno já foram pelas Voyager I e II, Galileu (Júpiter) e Cassini (Saturno), porém apenas Saturno continua sendo investigado por uma sonda. Porém as sondas observaram apenas os planetas, os anéis e satélites mais internos. Os satélites externos, que acredita-se ser oriundo de capturas ou foram pouco observados (como Phoebe) ou simplesmente não foram observados.

Já no caso de Urano e Netuno, nenhuma sonda exclusiva foi enviada, apenas as Voyagers I e II os visitaram, mas não permaneceram nos sistemas. A sonda New Horizons visitará Plutão em 2015 e obterá parâmetros físicos para Plutão e seus satélites (primeira visita por sonda a um satélite do cinturão de Kuiper), porém será uma passagem rápida e o acompanhamento da evolução do sistema, incluindo a evolução da atmosfera de Plutão se dará por observações de solo.

A quantidade de objetos descobertos além da órbita de Saturno tem aumentado muito desde o fim do século passado. Como são raras as oportunidades em que uma sonda se aproxima desses objetos, a obtenção de suas características físicas ficam a cargo de observações de solo ou de telescópios espaciais.

Um método que tem se mostrado eficiente para a obtenção desses parâmetros é o método de ocultações estelares, que proporciona medidas tão precisas que são apenas superadas por medidas oriundas de sondas.

2 Ocultações

2.1 Ceres

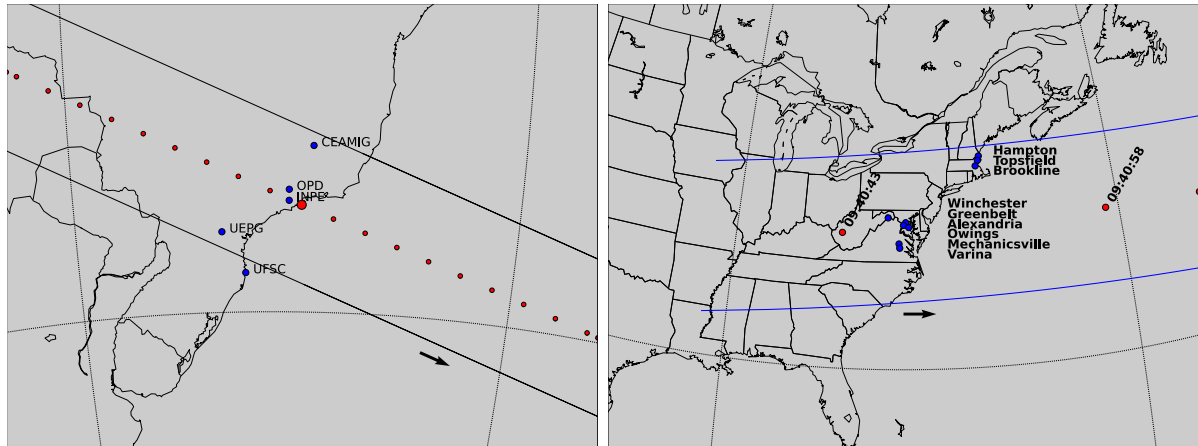
Apesar de Ceres não ser um objeto do sistema solar exterior, ele é o único planeta-anão no sistema solar interno e, por isso, é um objeto de grande importância e seu estudo pode ter grande impacto na formação e evolução do sistema solar. Na verdade, foi proposto que a origem de Ceres pode ser como um objeto transnetuniano (McKinnon, 2012), espalhado posteriormente para o cinturão principal de asteroides devido à migração dos planetas gigantes predito pelo Modelo de Nice (Gomes et al., 2005). Mesmo que ele tenha sido formado próximo à sua localização atual, a história dinâmica do sistema solar deve ter deixado sua assinatura em Ceres.

Contendo aproximadamente um quinto de toda a massa do cinturão de asteroides, espera-se que Ceres esteja em equilíbrio gravitacional e seja, portanto, um elipsóide Maclaurin ou Jacobi. De fato, observações diretas de Ceres com a utilização de ótica adaptativa indica que ele é um esferóide achatado nos pólos (Drummond et al., 2014). O conhecimento preciso de seu tamanho e forma é extrema importância para modelos de densidade, estrutura interna e diferenciação.

A primeira ocultação estelar por Ceres foi observada em 1984 (Millis et al., 1987) e determinou seu tamanho com precisão de alguns quilômetros em uma época que as incertezas eram, normalmente, dez vezes maiores. Devido ao brilho aparente de Ceres ser alto, comparado à maioria dos asteroides, estrelas capazes de causar uma queda de magnitude detectável quando ocultadas são limitadas às mais brilhantes. Por exemplo, depois do evento de 1984, apenas 4 ocultações estelares por Ceres foram observadas (D.W. et al., 2014). Duas delas tiveram apenas duas cordas cada que não foram suficientes para prover resultados acurados¹. Os dois restantes, que ocorreram em 17 de Agosto de 2010 e 25 de Outubro de 2013, foram trabalhos por mim em colaboração com o grupo do Rio (Gomes-Júnior et al., 2015, aceito).

¹Esses eventos ocorreram em 22 de Agosto de 1994 e 30 de Outubro de 2010.

Os dois eventos foram preditos por Steve Preston² para a IOTA (International Occultation Timing Association), durante predições de rotina de ocultações de asteroides de estrelas brilhantes. Os caminhos das sombras podem ser visualizados na Fig. 2.1.



(a) Ocultação de 2010

(b) Ocultação de 2013

Figura 2.1: Reconstrução pós-ocultação do caminho da sombra de Ceres na Terra para os eventos de 17 de Agosto de 2010 (a) e 25 de Outubro de 2013 (b). Os pontos em azul são os sítios que observaram os eventos. a) O ponto grande vermelho é a máxima aproximação geocêntrica às 22:40:25 UT. Os pequenos representam o centro da sombra separados por um minuto. b) Visão superior da ocultação sobre os sítios que observaram o evento de 25 de Outubro de 2013. Os pontos vermelhos são os centros da sombra separados por 15 segundos. Nos dois eventos a sombra se move da esquerda para a direita.

2.2 Satélites Irregulares

2.3 TNOs

²Predições publicadas em <http://asteroidoccultation.com>.

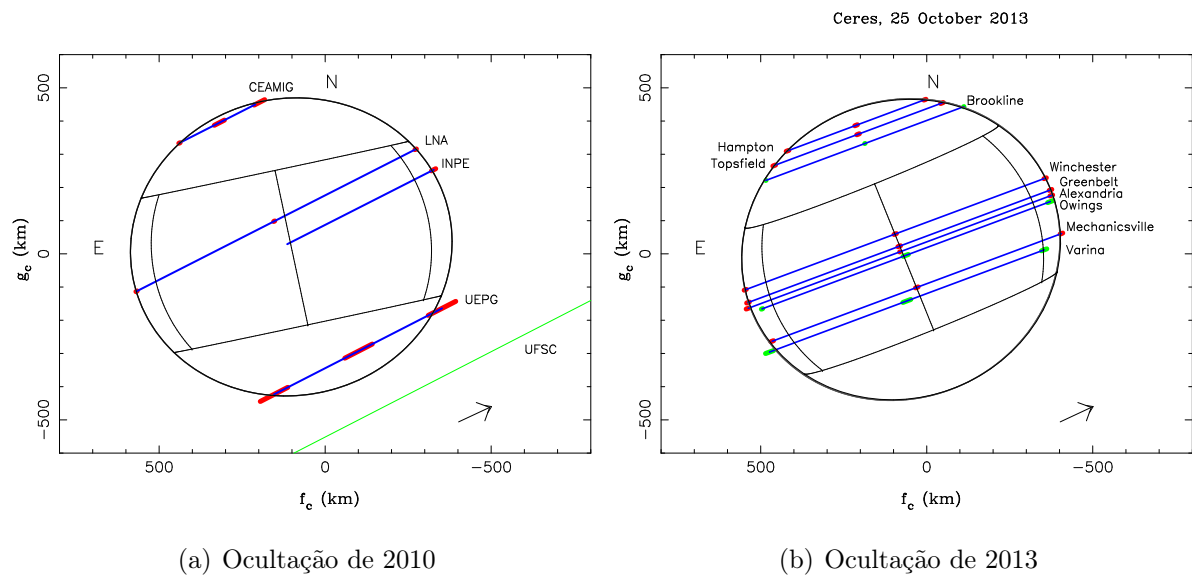


Figura 2.2: Melhores ajustes elípticos para as cordas das ocultações de 2010 e 2013. As setas indicam a direção de movimento, as linhas azuis são as cordas observadas, os segmentos vermelhos são as barras de erro dos ingressos, egressos e centro da ocultação em 1σ . A linha verde em (a) é uma corda negativa. Os instantes marcados em verde em (b) não foram utilizados para o ajuste como descrito no texto.

3 Astrometria de Netuno e Tritão

Referências Bibliográficas

- Drummond, J., Carry, B., Merline, W., Dumas, C., Hammel, H., Erard, S., Conrad, A., Tamblyn, P., and Chapman, C. (2014). Dwarf planet ceres: Ellipsoid dimensions and rotational pole from keck and vlt adaptive optics images. *Icarus*, 236:28–37.
- D.W., D. et al. (2014). *Asteroid Occultations V12.0. EAR-A-3-RDR-OCCULTATIONS-V12.0. NASA Planetary Data System*.
- Gomes, R., Levison, H. F., Tsiganis, K., and Morbidelli, A. (2005). Origin of the cataclysmic late heavy bombardment period of the terrestrial planets. *Nature*, 435(7041):466–469.
- Gomes-Júnior, A. R. et al. (2015). Results of two multi-chord stellar occultations by dwarf planet (1) ceres. *Monthly Notices*.
- McKinnon, W. B. (2012). Where did ceres accrete? In *LPI Contributions*, volume 1667.
- Millis, R., Wasserman, L., Franz, O., Nye, R., Oliver, R., Kreidl, T., Jones, S., Hubbard, W., Lebofsky, L., Goff, R., and et al. (1987). The size, shape, density, and albedo of ceres from its occultation of bd+8°471. *Icarus*, 72(3):507–518.
- Tsiganis, K., Gomes, R., Morbidelli, A., and Levison, H. F. (2005). Origin of the orbital architecture of the giant planets of the solar system. *Nature*, 435(7041):459–461.