

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Divisão de Astrofísica
Workshop da Divisão de Astrofísica 2014

**Busca por Exoluas e Anéis
em Órbita de Exoplanetas
Utilizando os Telescópios Espaciais
CoRoT e Kepler**

Luis Ricardo Moretto Tusnski

Orientadora: Dra. Adriana Válio

Introdução

- Trânsitos Planetários: quando um exoplaneta passa diante de sua estrela hospedeira, causando um decréscimo na luminosidade observada da estrela.

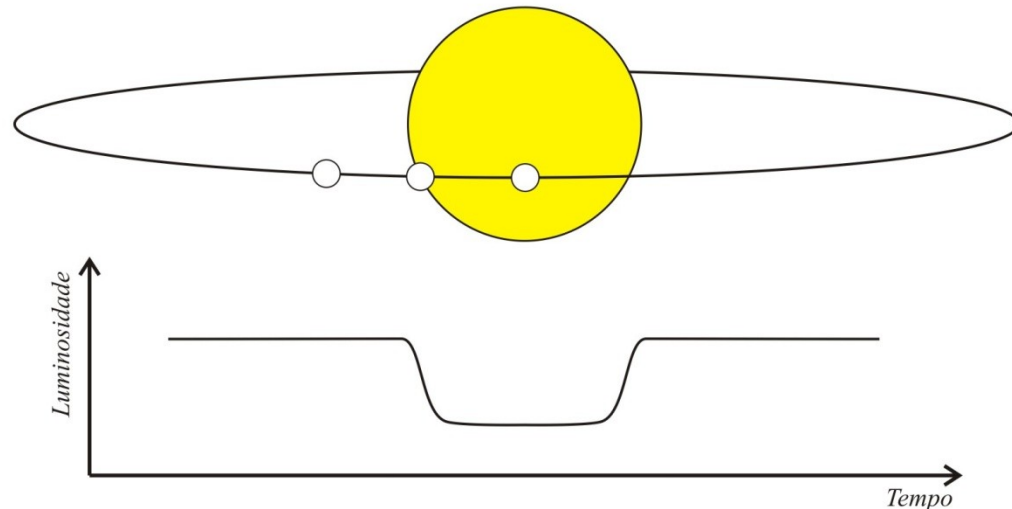


Figura 1: Detecção de planetas por trânsitos planetários.

- Planetas detectados por trânsitos e velocidades radiais possuem todos os parâmetros medidos, inclusive o ângulo de inclinação orbital, que deve ser próximo a 90° .
- Dos 1780* exoplanetas detectados, 1131 estão em trânsito ($\sim 63\%$).
- Duas missões espaciais estão detectando exoplanetas pelo método dos trânsitos:
 - CoRoT (CNES + colaboradores, inclusive o Brasil);
 - Kepler (NASA).

* Segundo o site www.exoplanet.eu em 07/04/2014.

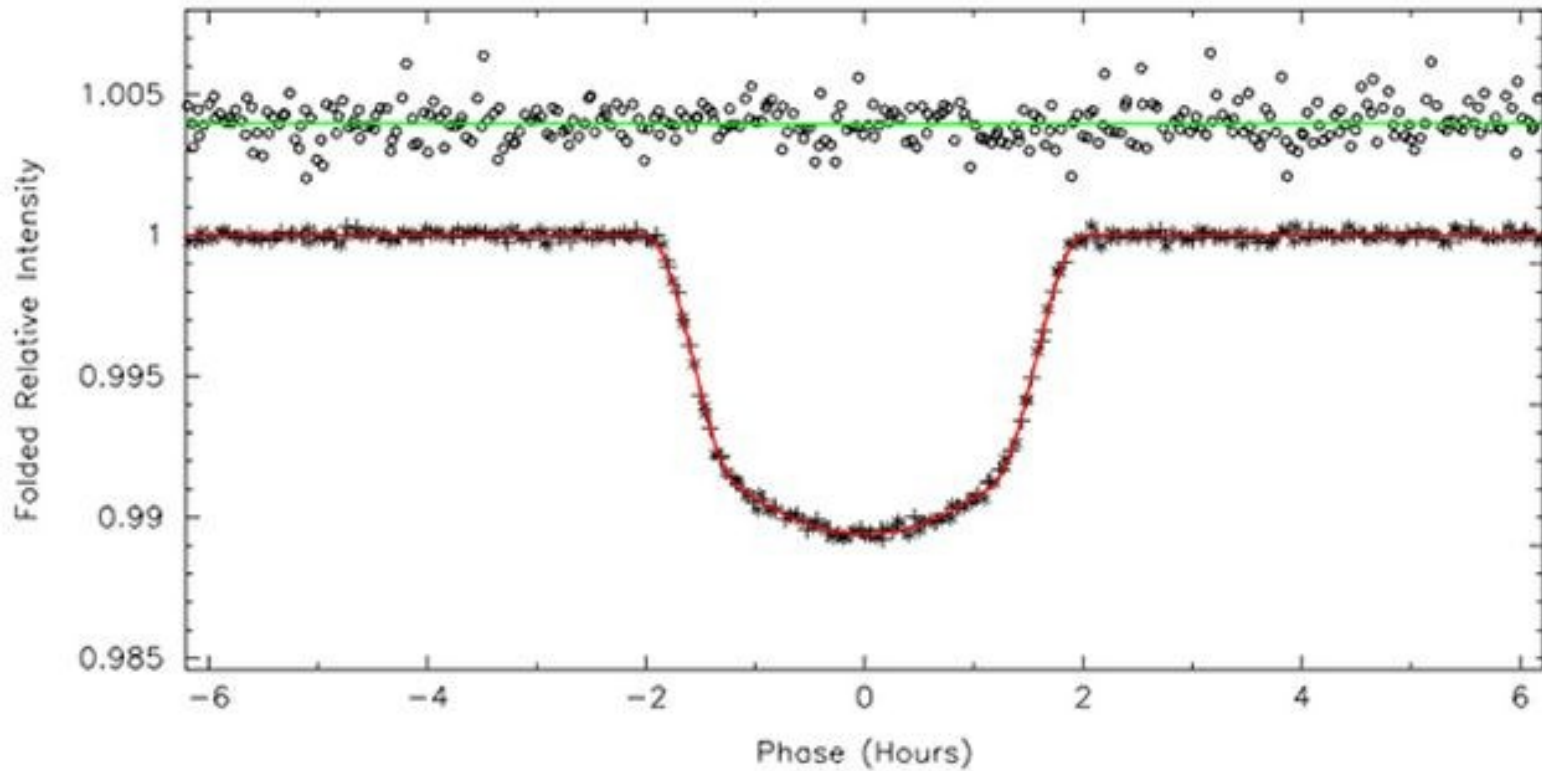


Figura 2: Curva de luz de Kepler-7b ($R_p/R_* = 0.08$)

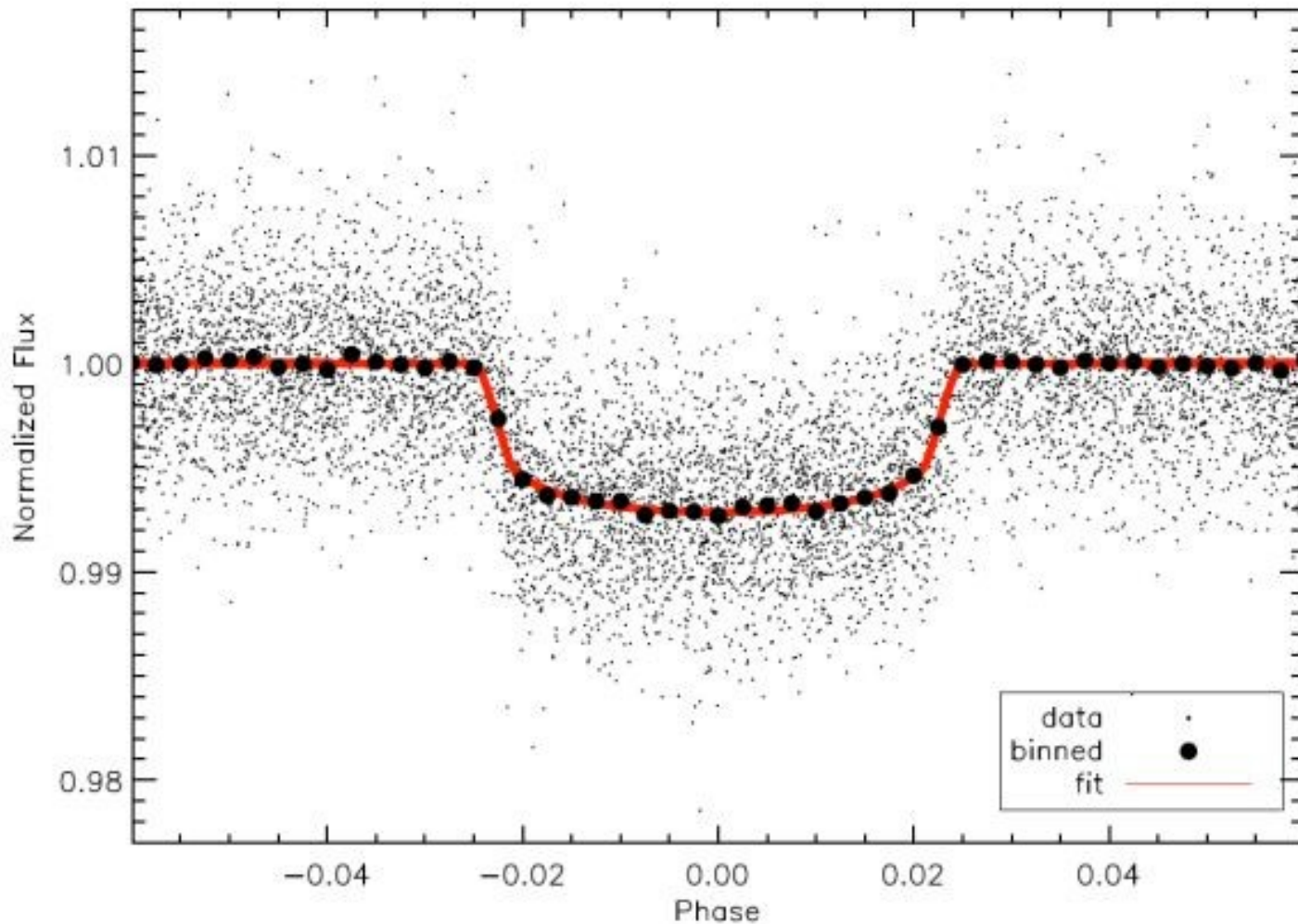


Figura 3: Curva de luz de CoRoT-19b ($R_p/R_* = 0.09$)

Por quê luas e anéis?

- Habitabilidade: luas em órbita de planetas localizados na zona habitável também são habitáveis.

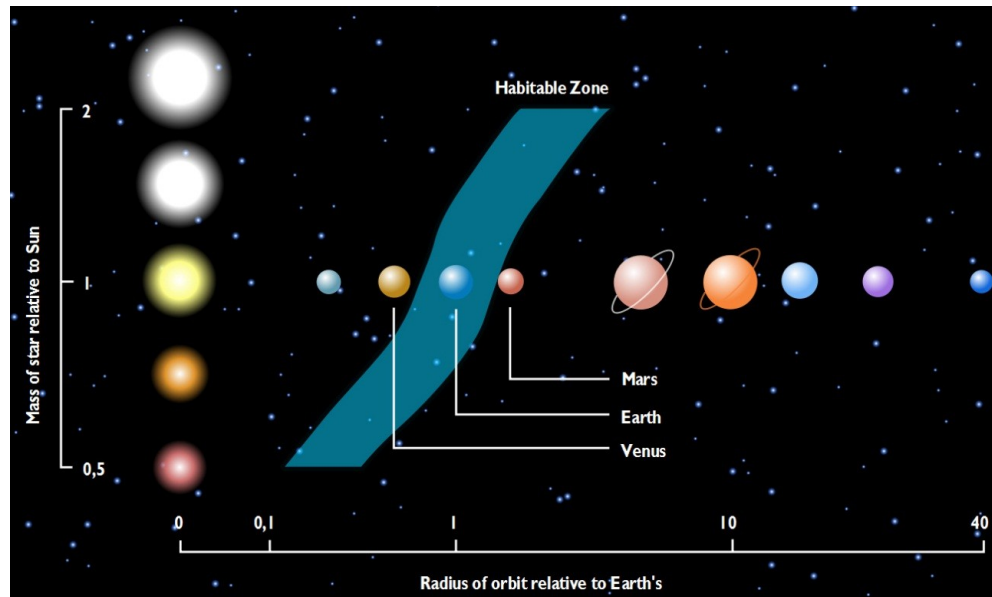


Figura 4: Zona Habitável.

- **Formação planetária:**
 - Formação antes ou depois da migração?
 - Interação lua/anéis com o disco durante a migração?
 - Interação lua/anéis com outros planetas durante a migração?
- Interação das luas/anéis com a estrela.
- Anéis podem indicar luas ocultas (luas pastoras).
- Anéis e luas revelam dados sobre os planetas, através dos limites de Hill e de Roche.
- No caso de não serem detectadas: *onde estão as exoluas?*

Trabalho de Mestrado

- No Mestrado (2011), foi desenvolvido um programa que simula o trânsito de um planeta com uma lua ou com anéis diante da estrela.
- Mostrou-se que como esse modelo pode ser usado na detecção de luas e anéis, e estabeleceu-se limites de detecção para os telescópios CoRoT e Kepler.
- O trabalho resultou em um artigo publicado no *The Astrophysical Journal* (arXiv: 1111:5599).

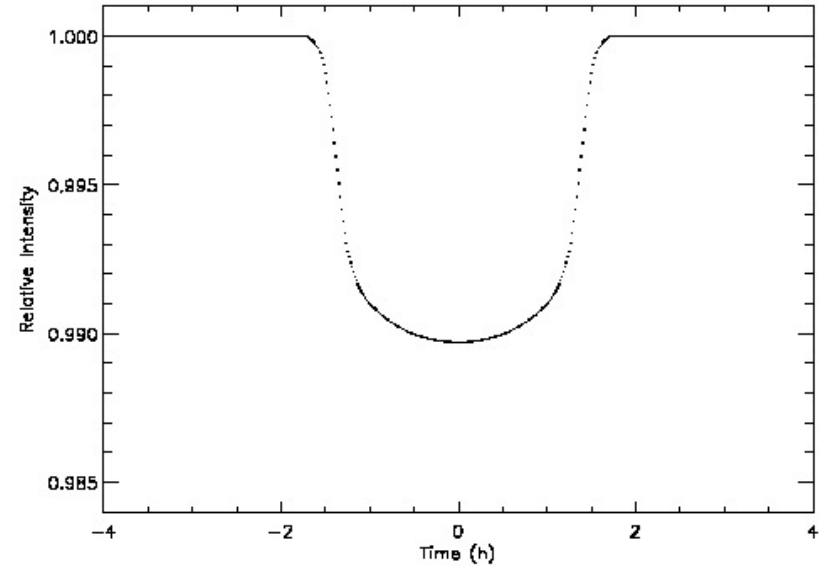
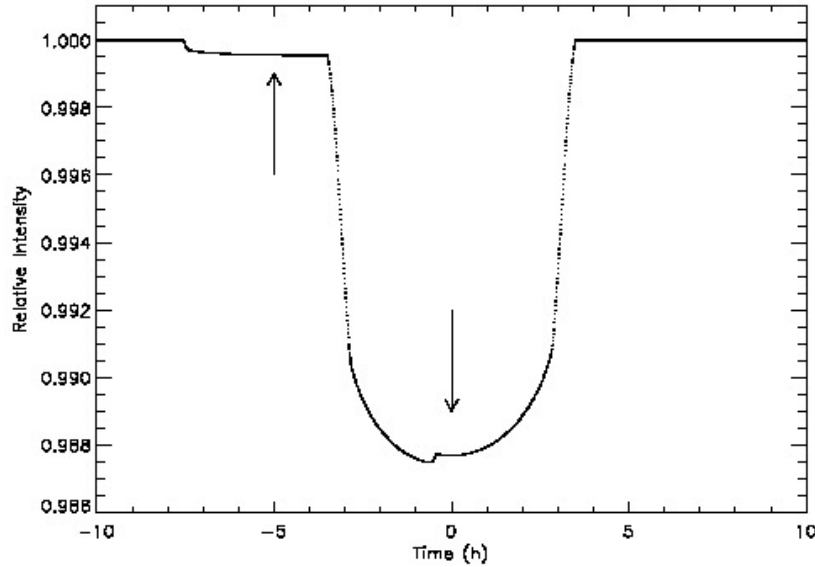


Figura 5: Simulação do trânsito de planetas com lua (esquerda) e anéis (direita).

Sinais de Exoluas e Anéis

- Exoluas deixam dois tipos de sinais na curva de luz:
 - Assinaturas fotométricas;
 - Variações temporais nos trânsitos.
- Anéis deixam assinaturas fotométricas diferentes das exoluas, e não causam variações temporais.
- A detecção e medida desses efeitos permite obter os parâmetros físicos e orbitais da lua (período orbital, massa e raio) e dos anéis (raios interno e externo, ângulos de inclinação e transparência).

Assinaturas Fotométricas

- Podem ser detectadas de duas maneiras:
 - Diretamente nos trânsitos individuais;
 - Através da curva de luz em fase.
- Assinaturas de exoluas são diferentes a cada trânsito, enquanto as de anéis são sempre iguais.

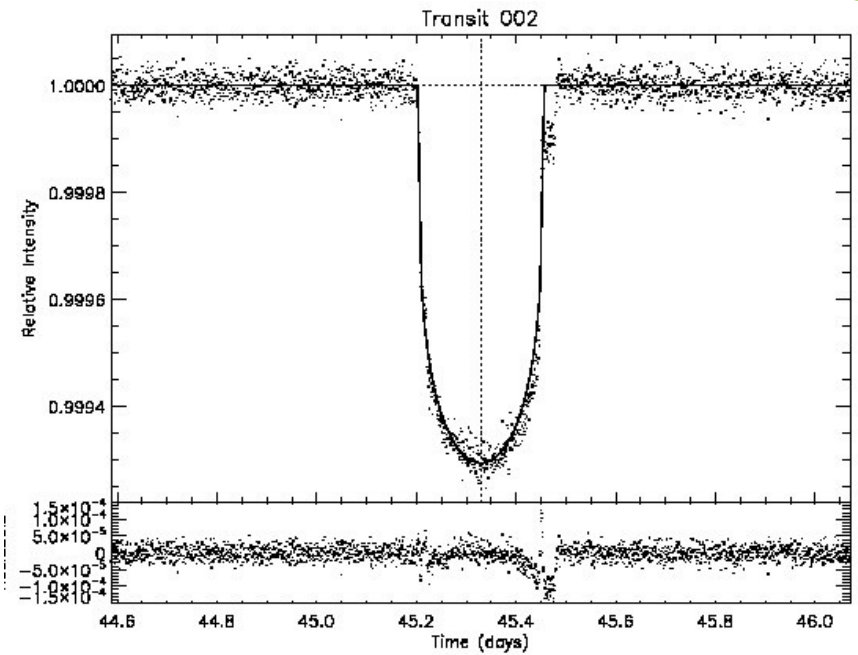
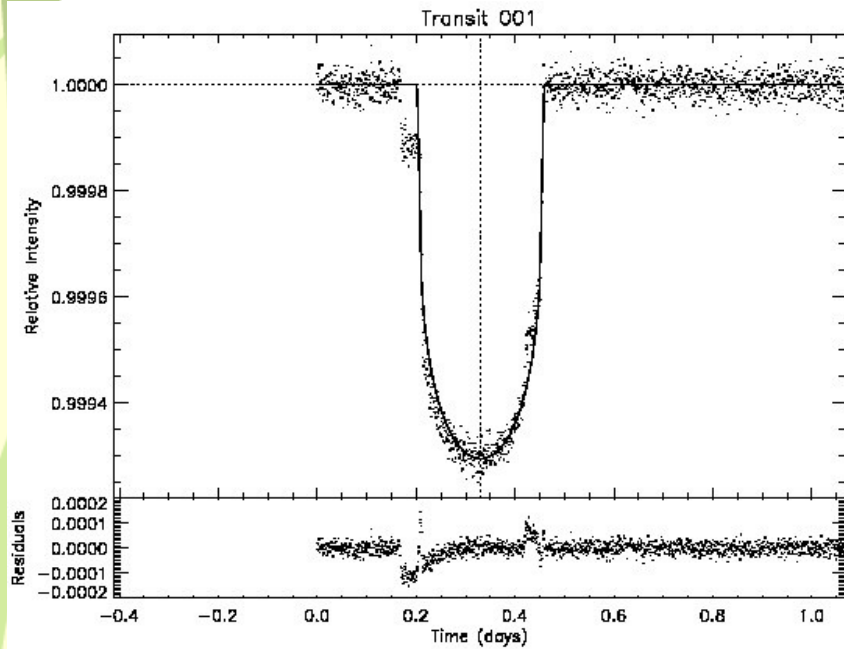


Figura 6: Deformações na curva de luz em dois trânsitos consecutivos causadas pela presença de uma lua em órbita do planeta (simulação).

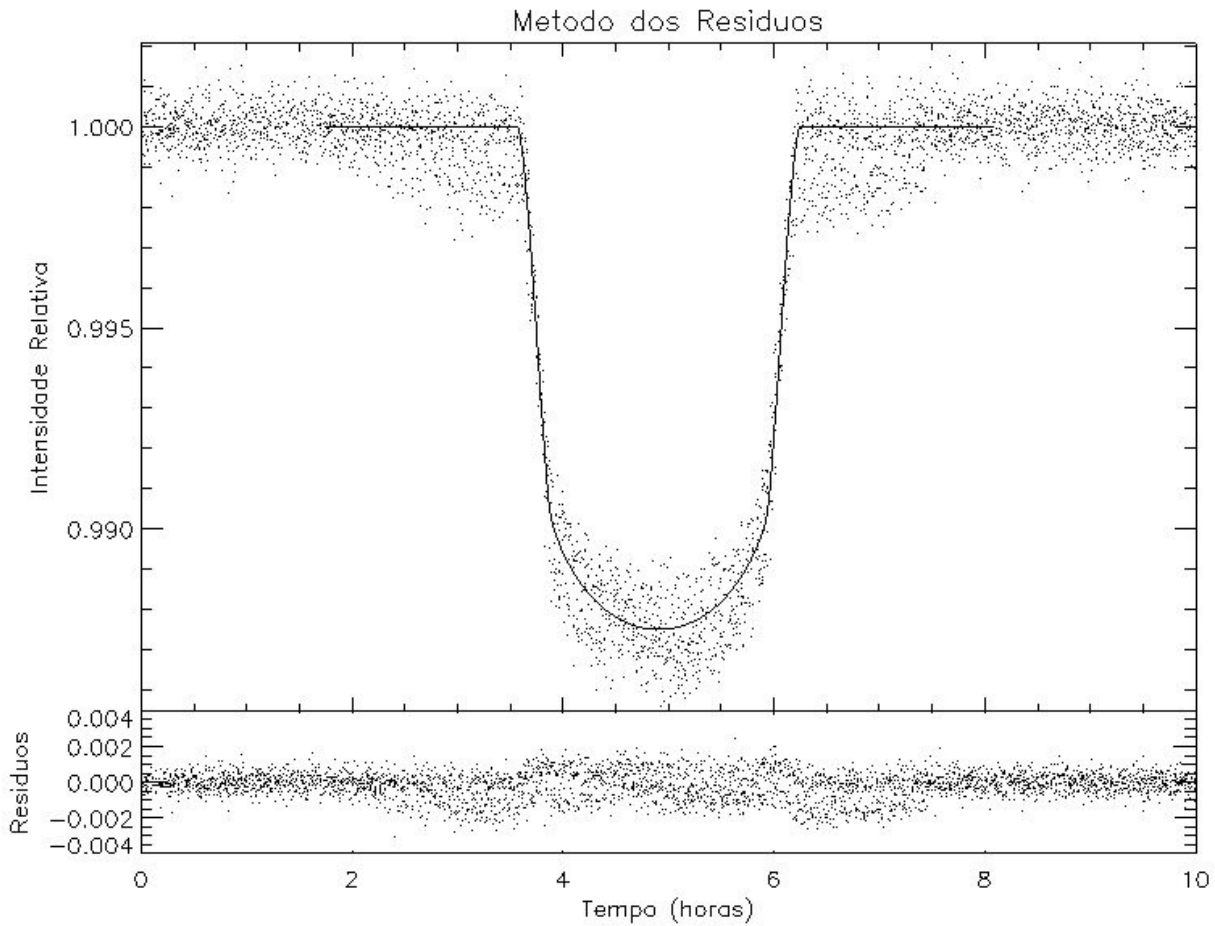


Figura 7: Deformações fotométricas visíveis no diagrama de fase da curva de luz (simulação).

Variações Temporais

- TTV (transit time variation): variações no instante de trânsito devido à posição e à velocidade do planeta em relação ao CM.

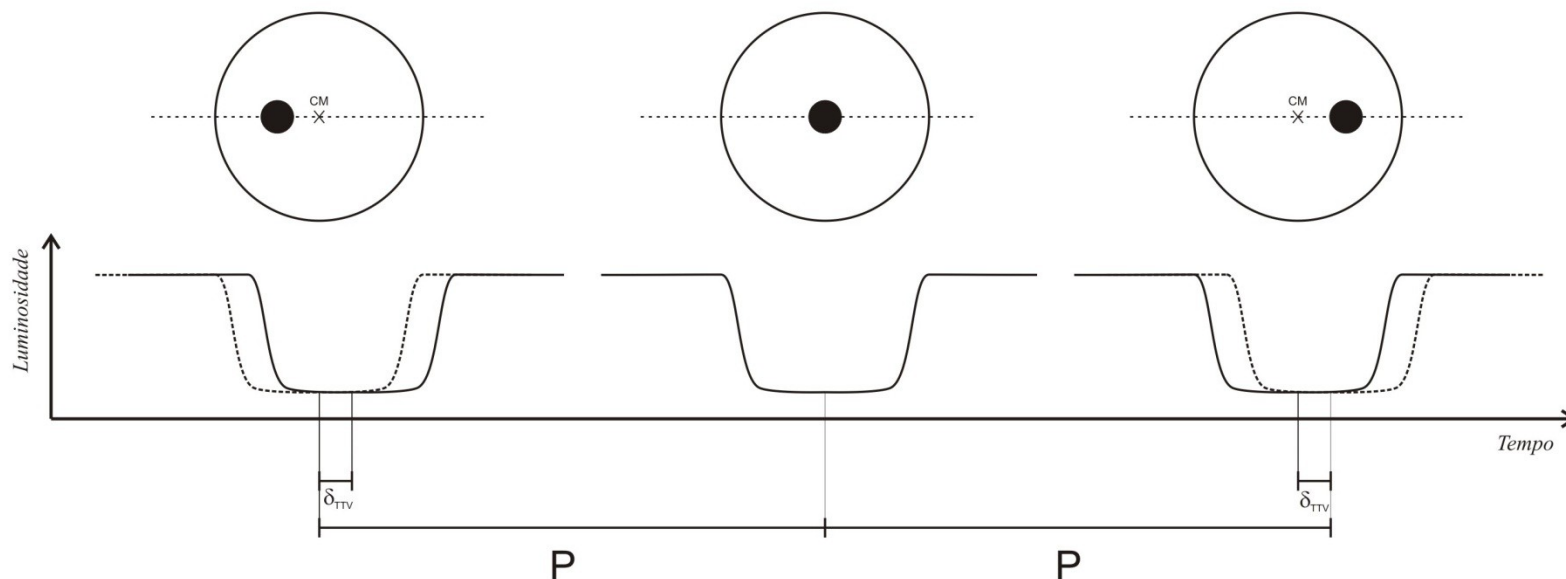


Figura 8: Transit Time Variation (TTV).

- Transit Duration Variation (TDV):

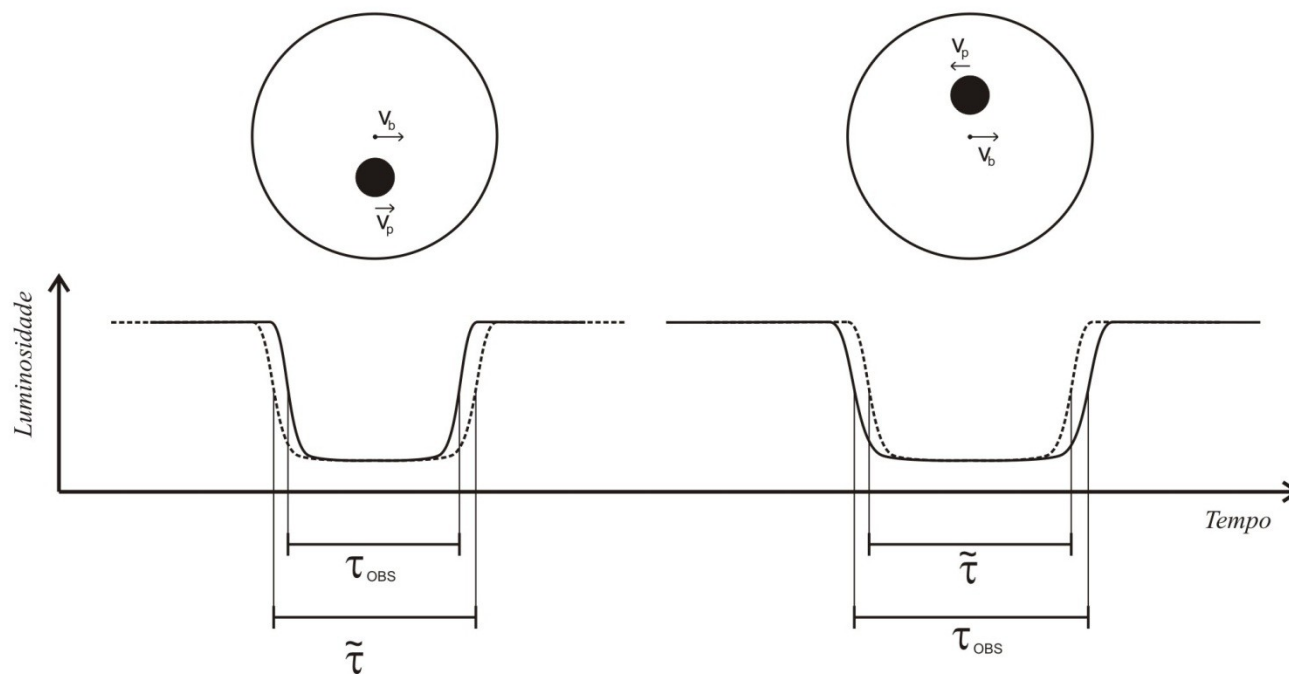


Figura 9: Transit Duration Variation (TDV).

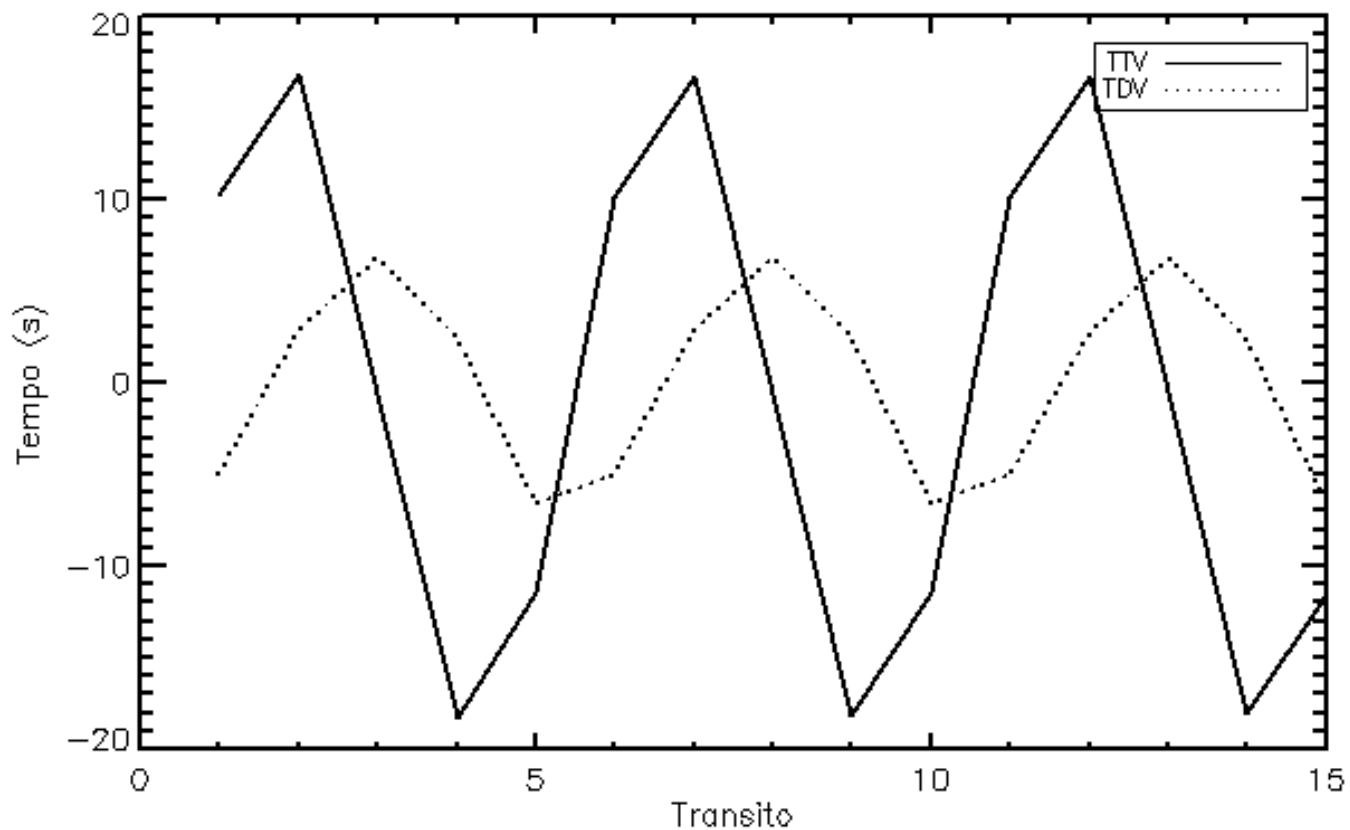


Figura 10: Diferença de fase entre os efeitos TTV e TDV.

Detecção de Anéis Planetários

- Anéis podem ser detectados pelos resíduos.
- A diferença entre resíduos de anéis e luas é que resíduos de anéis são simétricos nos trânsitos individuais.
- Além disso, anéis não causam efeitos temporais.

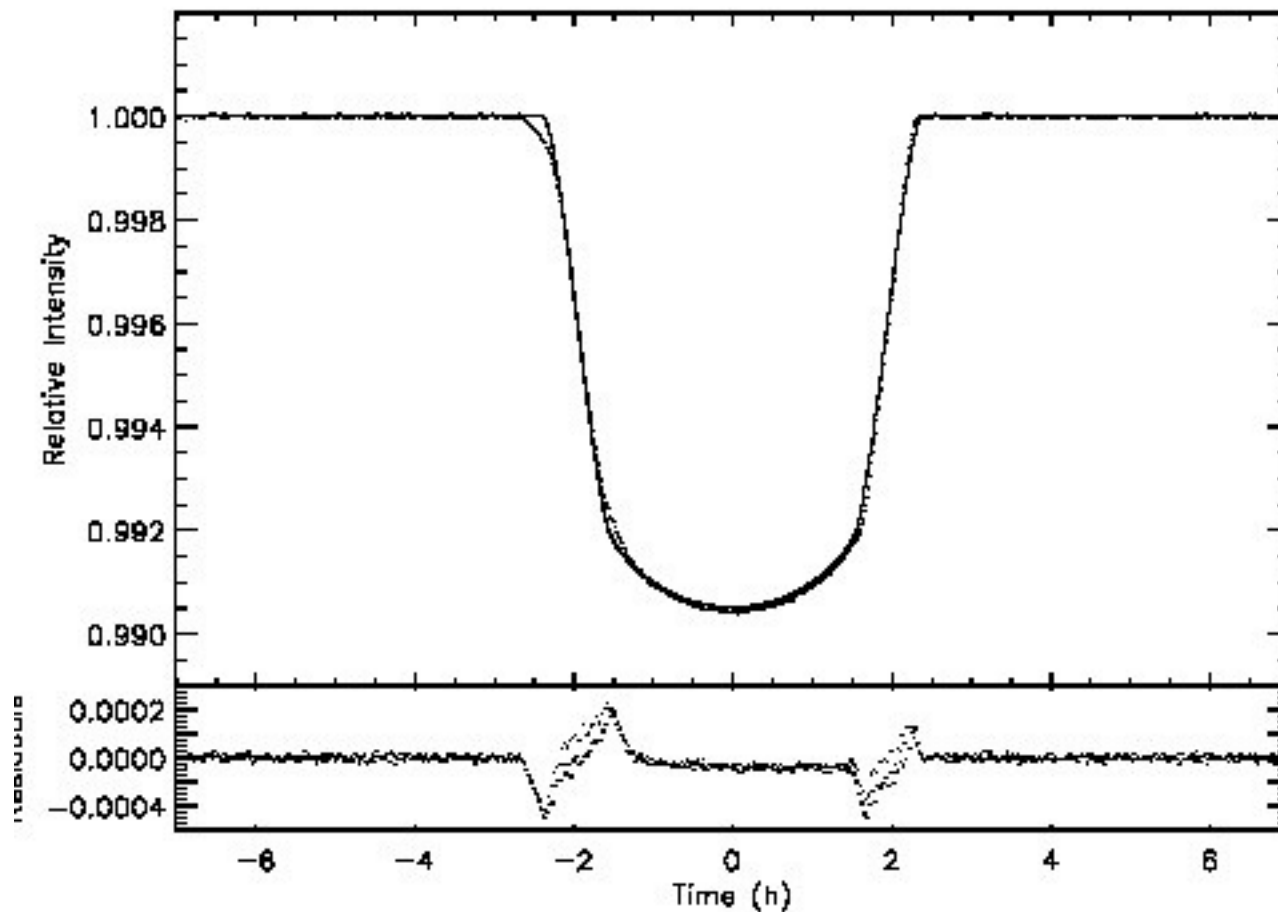


Figura 11: Simulação de um planeta com anéis ajustados com um modelo de planeta sem anéis.

O Programa de Busca

1. Dados de entrada - arquivos .FITS
 1. Cabeçalho - informações da estrela hospedeira
 2. Tabela - curva de luz
2. Identificação do primeiro trânsito
3. Medidas de instante central e duração de cada trânsito (MCMC)
4. Diagrama de fase (resíduos)
5. Identificação de candidatos
6. Utilizar o modelo desenvolvido no mestrado para determinação de parâmetros de possíveis luas ou anéis
7. Comparar modelos com e sem lua usando estatística Bayesiana

Estatística Bayesiana

- Os ajustes dos trânsitos individuais são feitos com o algoritmo MCMC.
- A principal vantagem é que o ajuste já fornece as estimativas de erro.
- Outra vantagem é o uso da evidência bayesiana para comparação entre modelos.

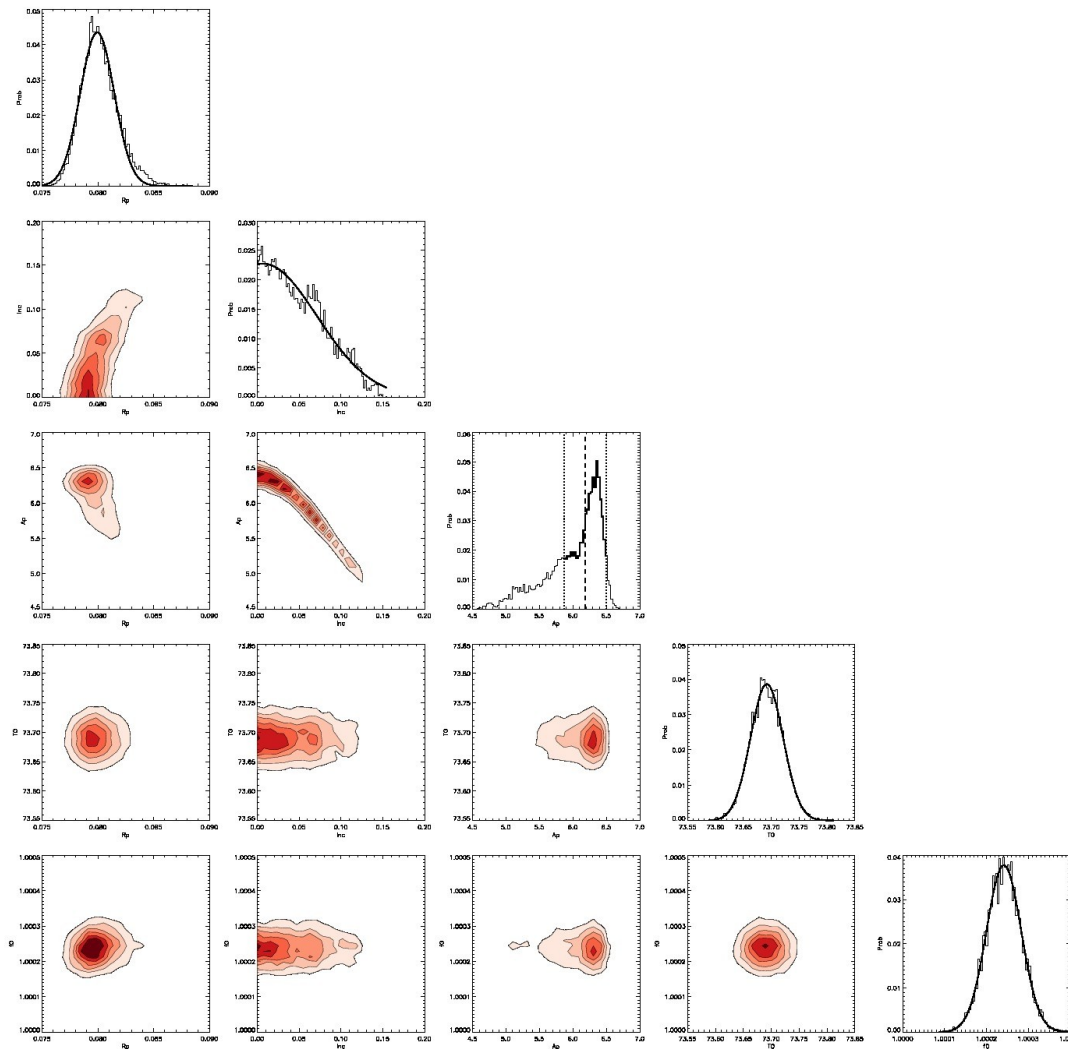


Figura 12: Histogramas e correlações do ajuste de um trânsito do exoplaneta Kepler-5b.

Resultados Preliminares

- 21 Planetas foram analisados:
 - CoRoT-2b, 3b, 4b, 5b, 6b, 8b, 9b, 10b, 11b e 12
 - Kepler-4b, 5b, 6b, 7b, 8b, 12b, 15b, 17b, 18b, 21b e 27b
- Próximas etapas:
 - Analisar também os *candidatos a planetas* do Kepler;
 - Ferramentas de diagnóstico do MCMC;
 - Ajuste automatizado do *stepsize* do MCMC.

The background is a light green color. It features several thick, curved green lines that sweep across the frame. Two starburst shapes, composed of multiple thin green lines radiating from a central point, are positioned on the left and right sides of the image.

Obrigado!