

**Instituto Nacional de pesquisas Espaciais
Divisão de Astrofísica
IV Workshop dos Alunos da DAS**

Modelo para Detecção de Luas e Anéis em Órbita de Planetas Extrassolares

**Luis Ricardo Moretto Tusnski
Orientadora: Dra. Adriana Válio**

Sumário

- Introdução
- Objetivos
- Modelo
- Curvas de Luz
- Detectabilidade de Luas
- Detectabilidade de Anéis
- Efeitos de Variação Temporal
- Estabilidade dinâmica de luas
- Conclusões

Introdução

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

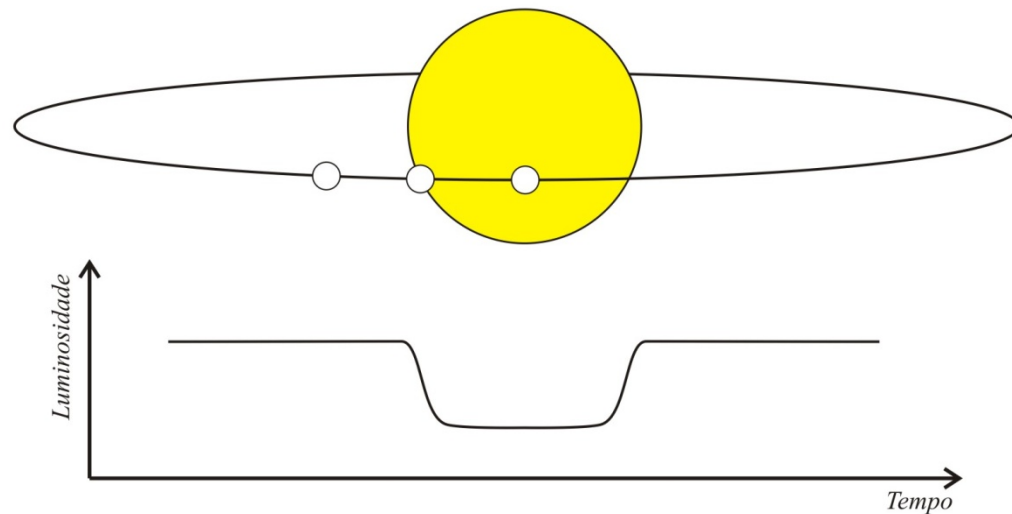


Figura 1: Detecção de planetas por trânsitos planetários.

- 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 497 planetas, 106 possuem trânsitos medidos.
- Duas missões espaciais procurando exoplanetas pelo método dos trânsitos: CoRoT (CNES + colaboradores) e Kepler (NASA).

- Zona Habitável: região ao redor da estrela onde o planeta recebe luminosidade suficiente para que possua água no estado líquido.

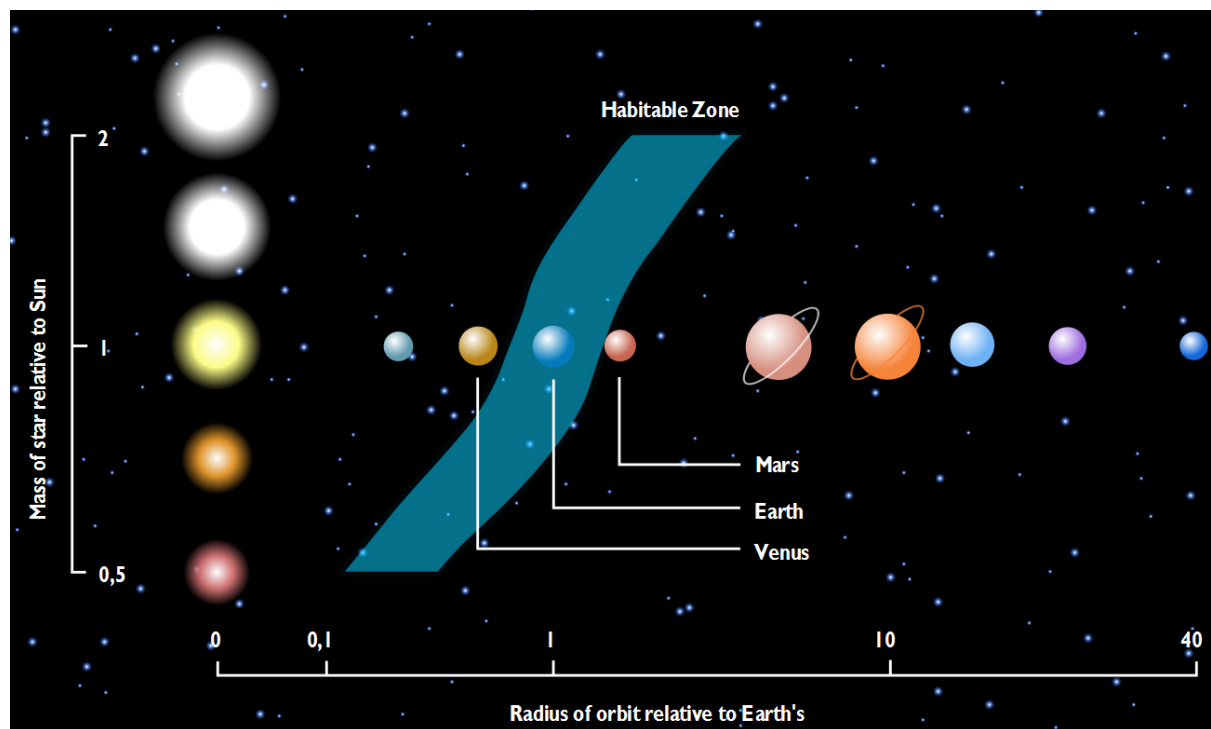


Figura 2: Zona Habitável.

- A grande maioria dos planetas descobertos são gasosos, portanto não são habitáveis.
- Se o planeta estiver na zona habitável e possuir luas, essas serão habitáveis (Sartoretti & Schneider, 1999).
- Vários métodos de detecção já foram propostos, mas nenhuma lua foi encontrada até o momento.

Objetivos

- Construir um modelo computacional que simule o trânsito de um planeta diante da estrela. Em órbita do planeta pode-se colocar luas ou anéis. O modelo deve produzir a curva de luz de tais eventos.
- As curvas de luz serão usadas para determinar se luas e anéis são detectáveis por fotometria.
- Pretende-se estabelecer limites de detecção para os casos dos telescópios espaciais CoRoT e Kepler.

O Modelo

- O modelo é feito em IDL, baseado em Silva (2003).
- Considera a estrela como um disco com escurecimento de limbo.
- Planeta e lua são modelados como discos totalmente opacos.
- Anéis são discos com transparência.
- A cada passo, o programa calcula a posição dos corpos, soma os pixels não encobertos.
- O resultado é a curva de luz.

Curvas de Luz

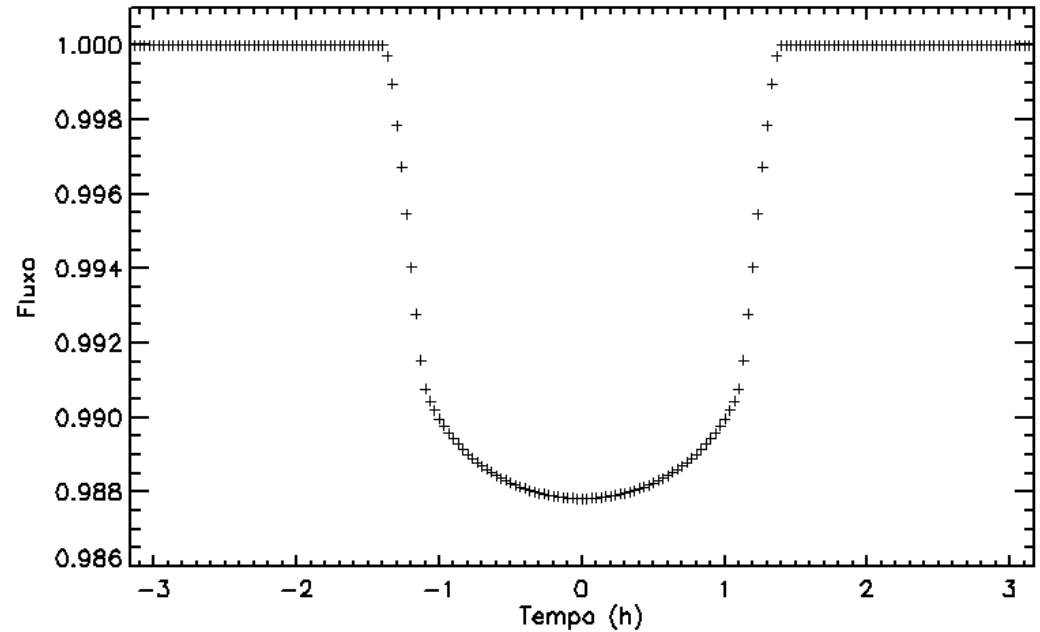
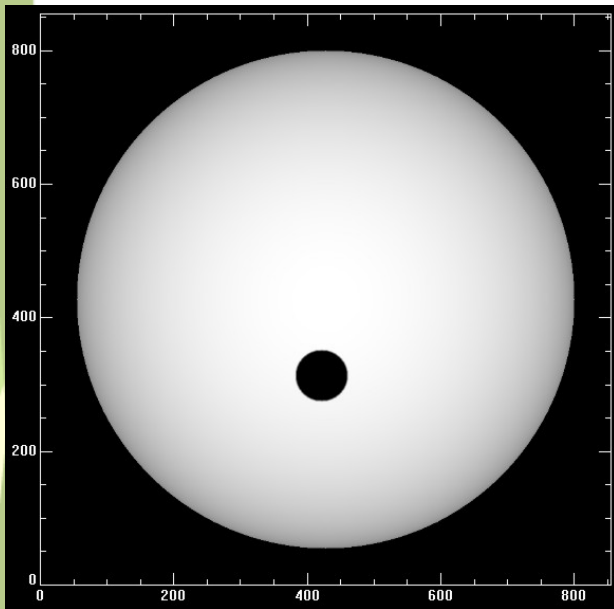


Figura 3: Trânsito de um planeta idêntico a Júpiter.

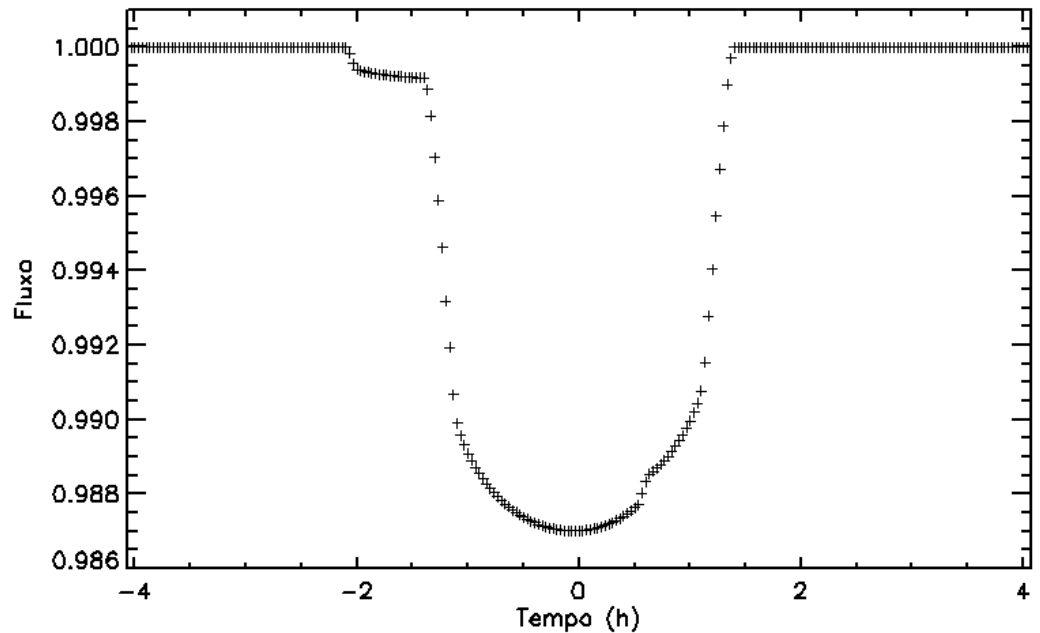
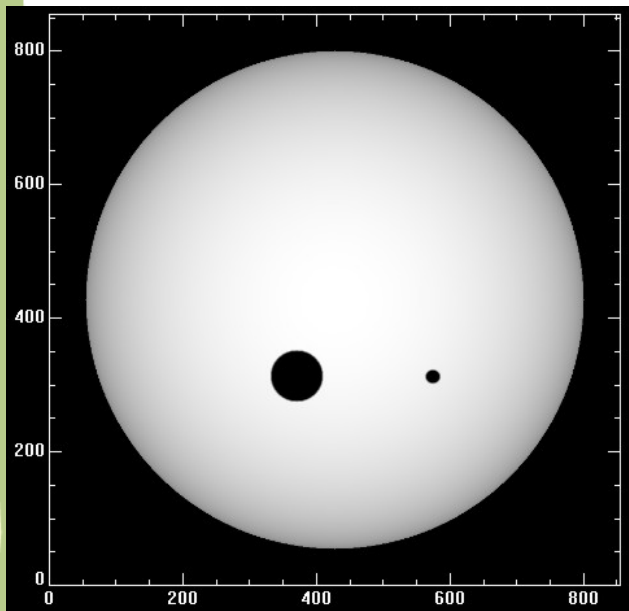


Figura 4: Trânsito de um planeta idêntico a Júpiter com uma lua com 3 vezes o raio da Terra.

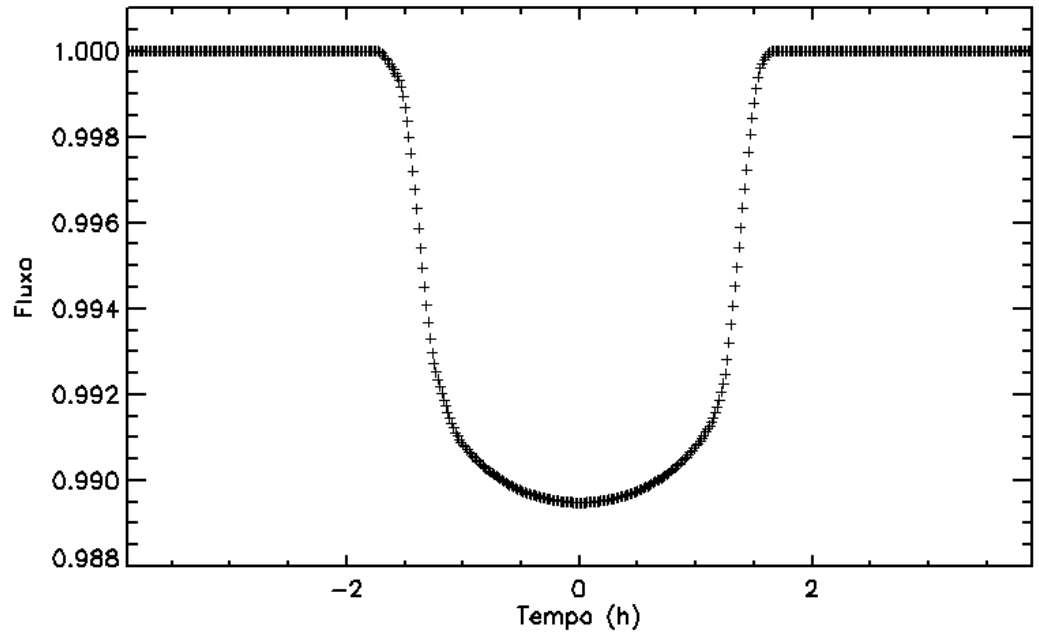
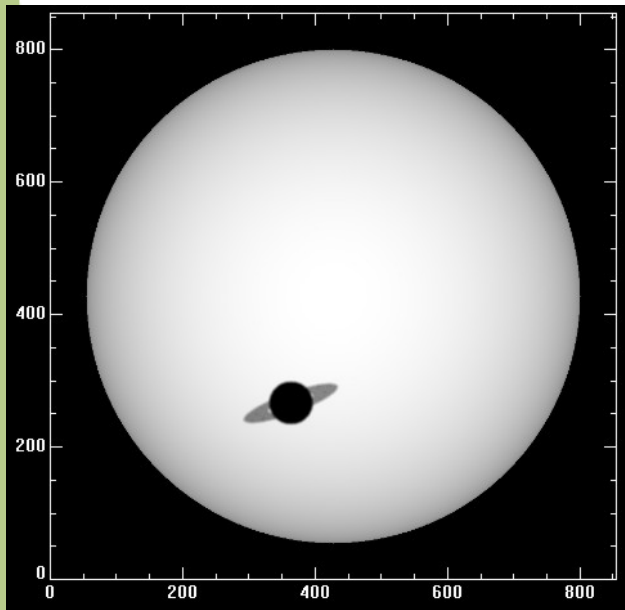


Figura 5: Trânsito de um planeta idêntico a Saturno.

Detectabilidade de Luas

- O modelo permite acrescentar ruído à curva de luz:
 - CoRoT: 6×10^{-4}
 - Kepler: 2×10^{-5}
- Após gerar a curva de luz com ruído, submete-se a um processo de ajuste de parâmetros usando os algoritmos Pikaia e Amoeba.
- Caso os parâmetros ajustados sejam iguais aos originais, o evento é detectável.

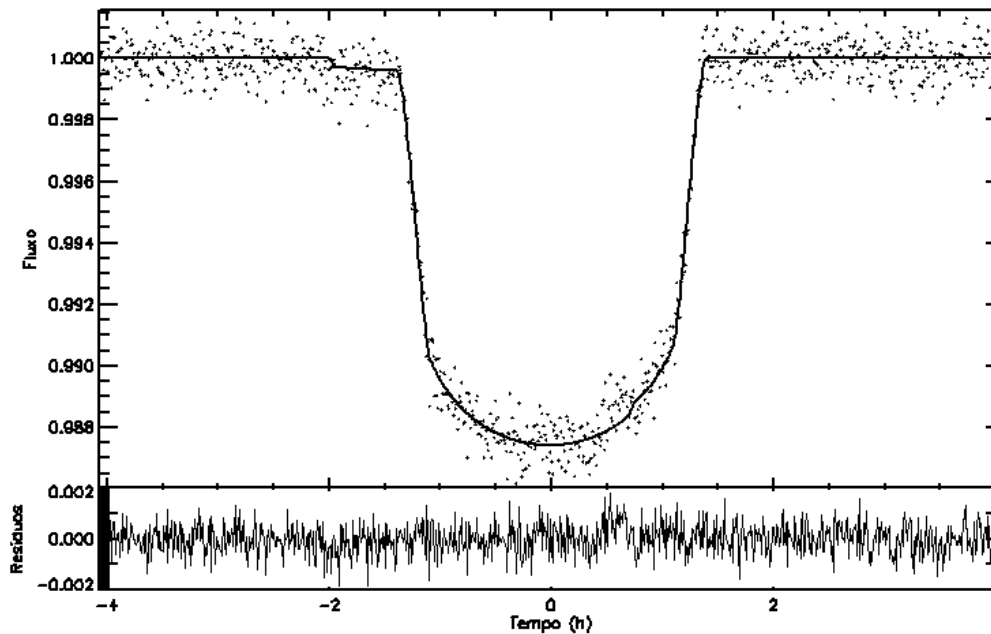


Figura 6: Ajuste de um planeta com uma lua.

Parâmetro	Valor Original	Valor Ajuste
Raio Planetário (R_J)	1	1.00069
Período da Lua (d)	1.9	1.90131
Raio da Lua (R_T)	2	1.92739
Posição Angular ($^\circ$)	0	13.1847

Detectabilidade de Anéis

- No ajuste de anéis, há uma degenerescência nos parâmetros: anéis de diferentes tamanhos e transparências produzem mesmo sinal na curva de luz.
- A maior dificuldade na detecção de anéis planetários é a diferenciação dos planetas com e sem anéis.
- Usa-se o resíduo do ajuste de um planeta como critério de detecção de anéis.

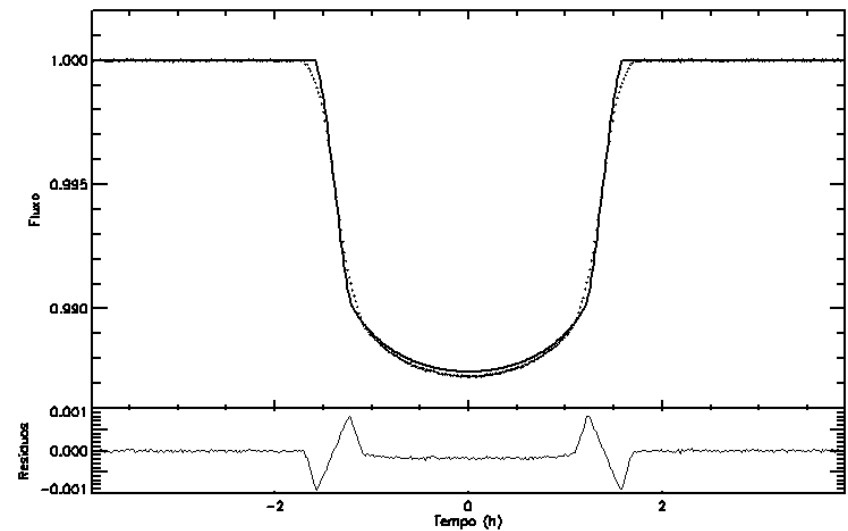
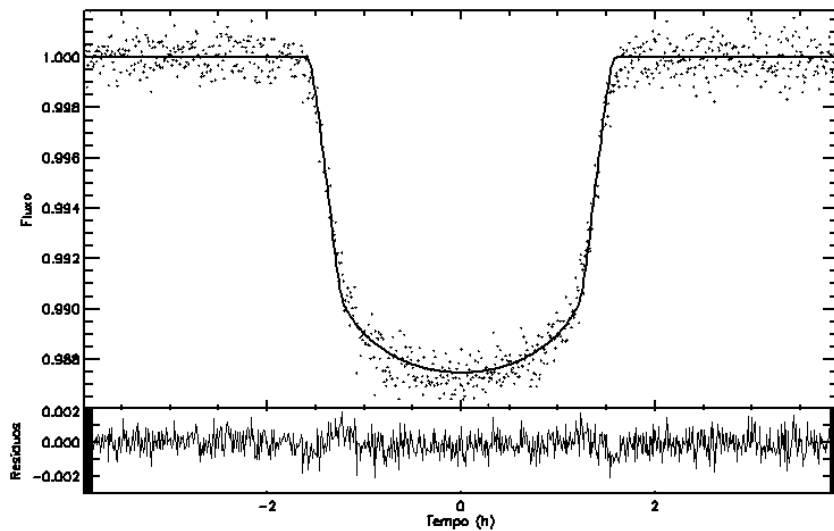


Figura 7: Ajuste da curva de luz de Saturno sem considerar os anéis.
Esquerda: CoRoT. **Direita:** Kepler.

Efeitos de Variação Temporal

- Devido ao movimento do planeta ao redor do centro de massa planeta-lua, ocorrem dois efeitos temporais (Kipping, 2009):
 - Variação no tempo de trânsito (TTV)
 - Variação na duração do trânsito (TDV)
- Essas variações são periódicas, e a partir da amplitude, pode-se determinar a massa e o período da lua.

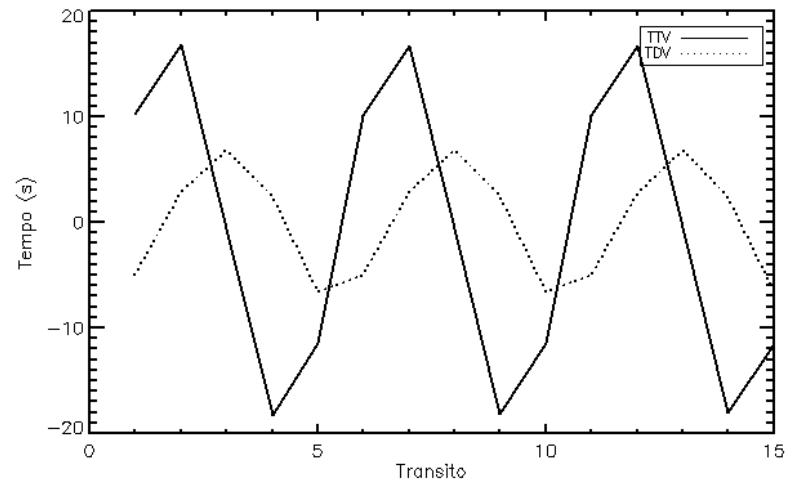


Figura 8: Variações temporais medidas em 15 trânsitos sucessivos.

Estabilidade Dinâmica de Luas

- Utilizamos o trabalho de Domingos et al. (2006) para limitar os parâmetros orbitas das luas.
- Nesse trabalho, os autores usam simulações numéricas para mostrar que planetas próximos (período de poucos dias) só podem ter luas com massa muito pequena.
- Planetas com período a partir de aproximadamente 30 dias podem ter luas com massa maior que a da Terra.
- Os planetas em trânsito de maior período são Kepler-9 c (38.9 dias), CoRoT-9b (95.27 dias) e HD 80606 (111.43 dias).

Conclusões

- O modelo foi implementado e testado com sucesso. Mudanças recentes no método melhoraram o tempo de processamento sensivelmente.
- A utilização do Pikaia melhorou o resultado dos ajustes.
- Limites de detecção estão sendo determinados.
- Em um trabalho futuro (Doutorado), pretende-se analisar curvas de luz do CoRoT e do Kepler utilizando esse modelo, em busca de planetas com satélites ou anéis.



Obrigado!