

# **Trabalho 1 da disciplina Tratamento de Dados**

*(Com base no trabalho de IC Ocultações Estelares tratadas com os pacotes PRAIA e SORA)*

## **Identificação**

Nome do Aluno: Thiago Laidler Vidal Cunha

## **Sobre o tema:**

O estudo das características desses corpos, como objetos transneptunianos (TNOs) e Centauros, só era possível por meios indiretos ou com telescópios espaciais, como o Hubble ou Spitzer. Por outro lado, de custo bem inferior, a observação de ocultações estelares, com telescópios terrestres, passou também a dar contribuições importantes.

As ocultações estelares permitem determinar as formas e tamanhos do corpo com precisão somente atingível por sondas (Sicardy et al., 2011). Cada observação do fenômeno gera uma curva de luz – a medida da variação do brilho da estrela com o tempo. A composição dessas curvas permite a determinação do tamanho e da forma do corpo com precisão de quilômetros. Portanto, o objetivo deste projeto é contribuir para a exploração de mais dados sobre os corpos do Sistema Solar Exterior (além da órbita de Saturno). Para isso, é utilizado o pacote PRAIA (Package for the Reduction of Astronomical Images Automatically) (Assafin et al., 2011) como ferramenta para obter e analisar as curvas de luz, e o SORA (Stellar Occultation Reduction and Analysis) para o tratamento dessas curvas com vistas a obter as informações, como formato e tamanho do corpo, com base nos instantes de ingresso e egresso da ocultação. O enfoque da utilização de tais softwares vem sendo na ocultação de Umbriel em 21 de Setembro de 2020 que, embora não seja um TNO, é um satélite de Urano e se encontra na mesma região, no Sistema Solar Exterior.

## **SUMÁRIO**

- 1. Introdução**
- 2. Técnicas e objetivos**
- 3. Resultados e discussão**
- 4. Referências bibliográficas**

# 1. Introdução

O estudo sistemático do Sistema Solar começou com o mapeamento cinemático de seus constituintes e posteriormente com o estudo de sua dinâmica, sendo assim, a Astronomia Fundamental e a Mecânica Celeste são primordiais nesse contexto. Ensaio modernos baseados na integração direta das equações de movimento têm ampliado nosso entendimento dos cenários de formação do Sistema Solar e de sua evolução, como a migração dos planetas gigantes e os efeitos da evolução das regiões de ressonância sobre os pequenos corpos, descritos pelo Modelo de Nice (Tsiganis et al, 2005). Assim, é de suma importância a investigação do Sistema Solar Exterior, que inclui corpos asteroidais no entorno da órbita de Netuno, os Centauros, e além - objetos transnetunianos, ou TNOs, incluindo Plutão. O estudo das órbitas dos corpos dessa parte do Sistema Solar e de suas características físicas ajuda a entender os mecanismos mais prováveis para a evolução do Sistema Solar como um todo, desde o passado até o seu estado atual, e futuro. Esse estudo permite responder a questões importantes sobre a formação e evolução do Sistema Solar na época da formação planetária, e a definir melhor as condições em que os planetas se formaram.

Entretanto, esta região externa ainda foi relativamente pouco explorada. Ao contrário da parte mais interna, onde planetas como Vênus, Marte, Júpiter e Saturno têm ou tiveram sondas que os orbitaram e estudaram a fundo, apenas as sondas Voyager I e II na década de 80 visitaram de passagem, sem orbitar, os planetas Urano e Netuno. Até poucos anos, devido a suas distâncias, a obtenção das propriedades físicas dos TNOs, como tamanho e forma, existência de atmosfera, massa, densidade e constituição interna, só era possível por meios indiretos, com resultados fortemente dependentes dos diversos modelos adotados, para ajustar as observações de solo (via fotometria e espectroscopia) ou com telescópios espaciais, como o Hubble ou o Spitzer. Por outro lado, de custo comparativamente irrisório, um certo tipo de observação com telescópios da Terra, mesmo com tamanhos modestos, passou a contribuir de forma importante para desvendar as características físicas e químicas desses corpos do Sistema Solar: a observação de ocultações estelares.

O trabalho da minha IC consiste no tratamento da ocultação estelar de Umbriel, satélite de Urano, que se enquadra nas características dos objetos de interesse. Com base nas imagens das observações, o trabalho começa pela fotometria dessas imagens e, em seguida, pela análise dos dados obtidos. O objetivo principal é a obtenção dos tempos de ingresso e egresso (início e final do evento), pois são essas informações que, combinadas curva a curva, nos darão o formato do corpo. Neste trabalho, portanto, quero ajustar um modelo (geométrico) para uma das curvas de luz, no intuito de medir estes valores de tempo de forma mais precisa possível.

## 2. Técnicas e objetivos

O tratamento fotométrico e análise das curvas de luz de ocultações estelares com vistas a determinar o tamanho e forma de TNOs e Centauros é o principal objetivo deste projeto de IC. O enfoque vem sendo na ocultação de Umbriel, satélite de Urano.

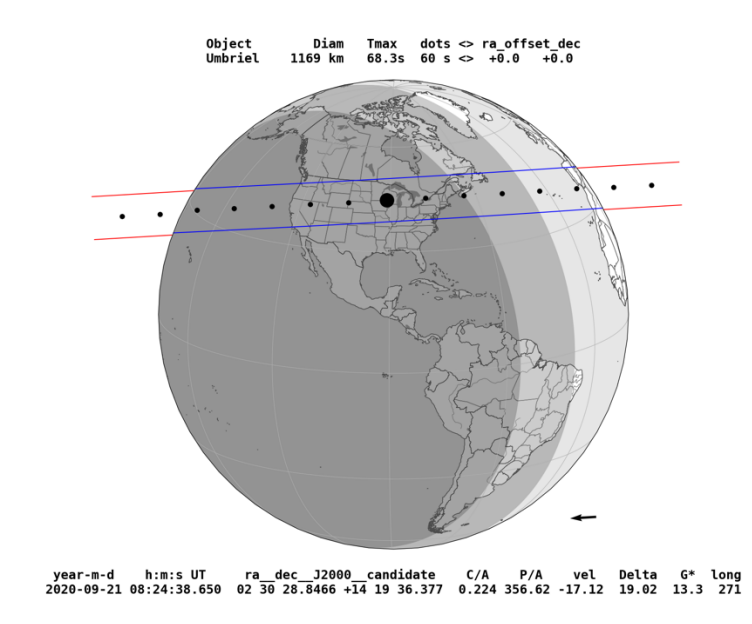
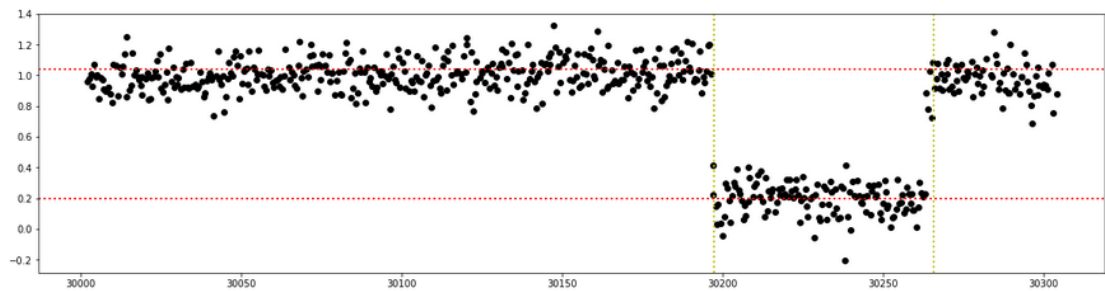


Ilustração da ocultação de Umbriel e onde ocorreu, em Setembro de 2020

Vale notar que os observadores situados em latitudes mais deslocadas do centro do evento observaram-no de forma incompleta, resultando nas chamadas *cordas negativas*. Apesar delas não nos informarem muito sobre o objeto ocultador, diferente das *cordas positivas*, elas ainda podem nos ajudar a definir o tamanho do corpo (principalmente as mais próximas ao bordo). Em geral (não é o presente caso), essas cordas podem servir para detectar a presença de atmosfera e indicar a presença de anéis.

Para este trabalho utilizei uma das cordas positivas, que possui dados referente à Umbriel em si, como mostrado abaixo.

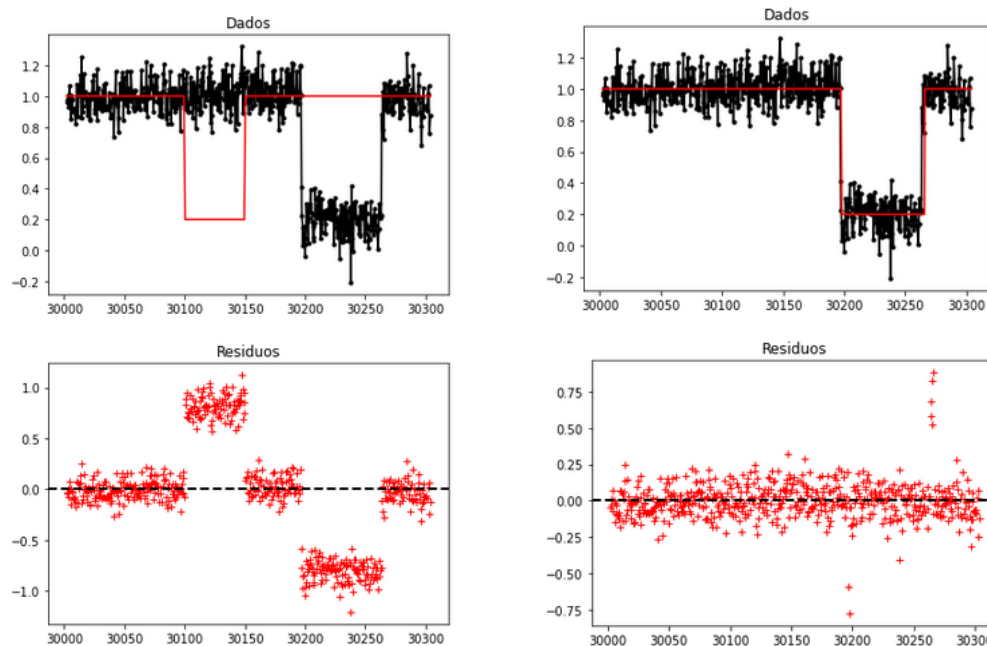


Uma das curvas da ocultação de Umbriel, com a fotometria feita por mim utilizando o pacote PRAIA Photometry.

Observamos que o eixo y representa o brilho da estrela alvo, já devidamente normalizado seguindo os procedimentos da fotometria diferencial de abertura. O eixo x representa o tempo em segundos em que a ocultação ocorre. Na imagem, valores aproximados do brilho médio medido (em vermelho) e do tempo de ingresso e egresso do evento (em amarelo) foram marcados. A partir desses valores iniciais, testamos nosso ajuste e sua qualidade.

### 3. Resultados e discussões

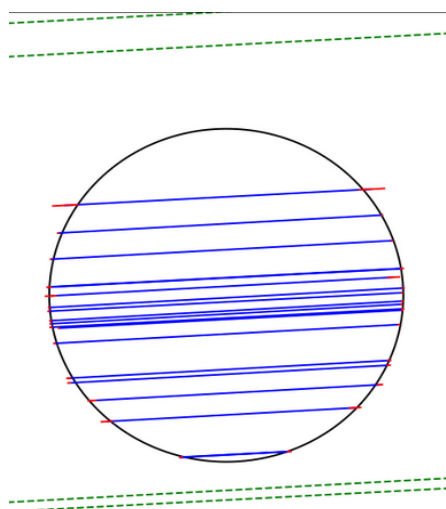
O ajuste inicial deve ter ‘forma de caixa’, e os valores chutados servem como bom ponto de partida para encaixá-lo na curva.



Soma dos quadrados dos resíduos: 159.29235531411754 Soma dos quadrados dos resíduos: 9.421857774069531

Mais detalhes desta análise estão escritos no arquivo Jupyter Notebook.

O ajuste criado serviu de forma bem decente para a curva escolhida. Os dados são próximos do esperado, tendo em vista que este projeto é uma simplificação do ideal. Os tempos de ingresso e egresso são, então, usados na projeção das curvas de luz no plano de céu, resultando no formato encontrado para o corpo. No caso de Umbriel, o formato preliminar encontrado é mostrado abaixo.



*O formato encontrado para Umbriel é circular; condizente com o previsto. Os resultados que levam a medida de seu raio indicam algo em torno de 580 km, que também bate com as medidas da Voyager na década de 80, cerca de 584 km. (P.C. Thomas, 1988).*

## 4. Referências

Sicardy, B. et al. 2011, “A Pluto-like radius and a high albedo for the dwarf planet Eris from an occultation”, *Nature*, 478, 493

Assafin, M., Vieira Martins, R., Camargo, J. I. B., et al. 2011, in *Gaia follow-up network for the solar system objects: Gaia FUN-SSO workshop proceedings*, held at IMCCE, Paris Observatory, France, November 29–December 1, 2010, eds. P. Tanga, & W. Thuillot, 85

Tsiganis, K., Gomes da Silva, R., et al. “Origin of the orbital architecture of the giant planets of the Solar System”, 2005, *Nature*, 435, 459

Batygin, K. & Brown, M. E. 2015, *AJ*, 151, 22

P.C. Thomas et al. 1988, “Radii, shapes, and topography of the satellites of Uranus from limb coordinates”