

## **Trabalho 2 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

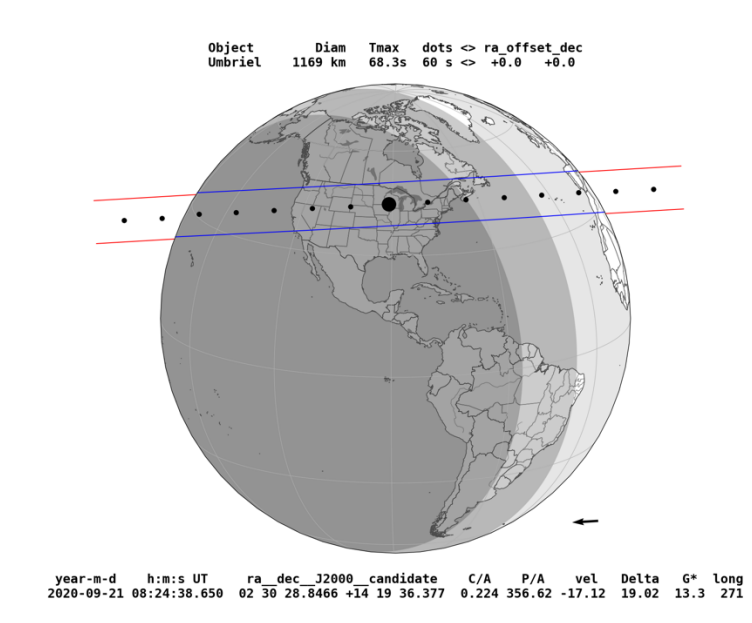
O estudo sistemático do Sistema Solar começou com o mapeamento cinemático de seus constituintes e posteriormente com o estudo de sua dinâmica, sendo assim, a Astronomia Fundamental e a Mecânica Celeste são primordiais nesse contexto. Ensaios modernos baseados na integração direta das equações de movimento 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.

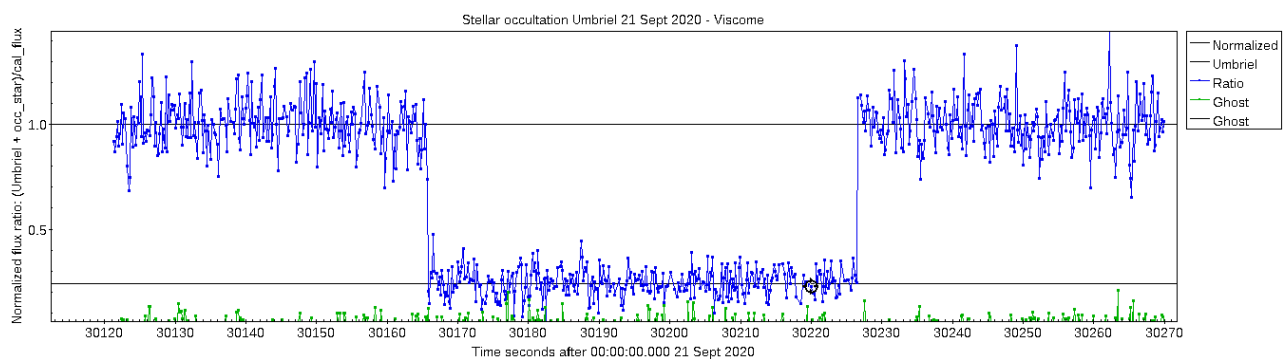
## 2. Técnicas e objetivos

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, e o enfoque vem sendo na ocultação de Umbriel, satélite de Urano.



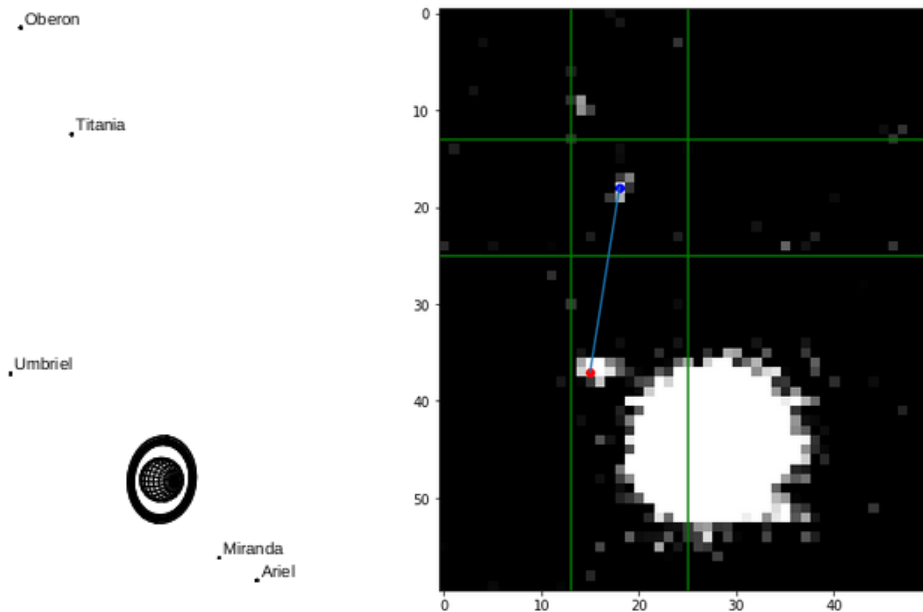
*Ilustração da ocultação de Umbriel e onde ocorreu, em Setembro de 2020*

Para este trabalho, devemos mostrar domínio na manipulação de imagens como dados. Aproveitei uma das observações da ocultação de Umbriel para cumprir esse objetivo. A ideia é fazer a fotometria de 8 frames (3 antes do evento, 3 durante o evento, 2 depois) e tentar identificar a ocultação com base neles. Para isso, utilizei uma das cordas positivas, que possui dados referente à Umbriel em si, que já foi tratada com os pacotes PRAIA photometry e SORA.



*A curva da ocultação de Umbriel utilizada no trabalho, com a fotometria feita por mim utilizando o pacote PRAIA Photometry.*

Será importante para esse trabalho ter em mente a posição de Urano e suas luas, pois o objeto de interesse é a estrela que será ocultada por Umbriel.

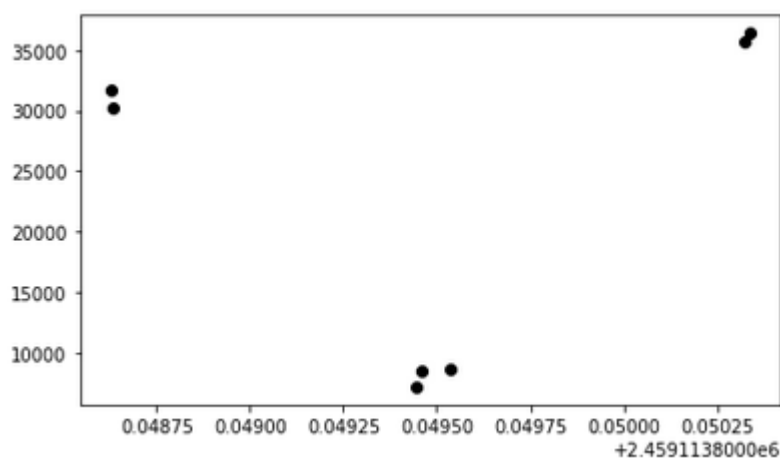


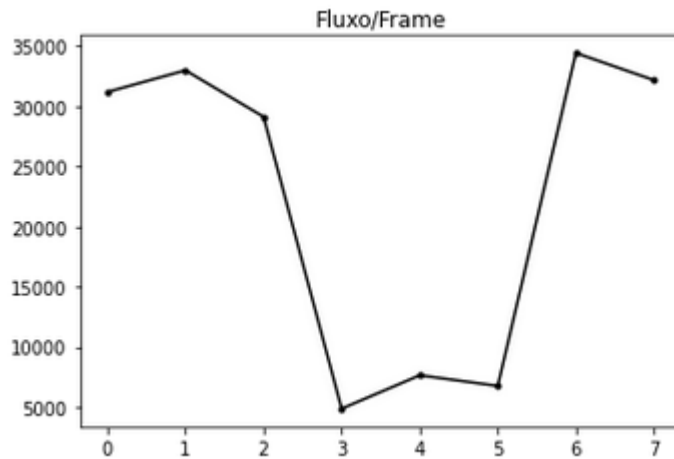
*Nessa análise, utilizarei apenas um calibrador (Titania). E este será também útil para determinar a posição da estrela durante a ocultação.*

### 3. Resultados e discussões

Como visto acima, considero a distância entre a estrela alvo e Titania como base para determinar o centro da estrela durante o evento. Essa distância possui uma certa variação durante a observação, mas é muito pouca como poderemos ver nos notebooks. Após encontrar a posição aproximada do corpo, determinar o pixel mais brilhante como centro da estrela alvo funcionou bem o suficiente. Isso faz sentido tendo em vista que Umbriel, mesmo ocultando a estrela, se destaca com o fundo.

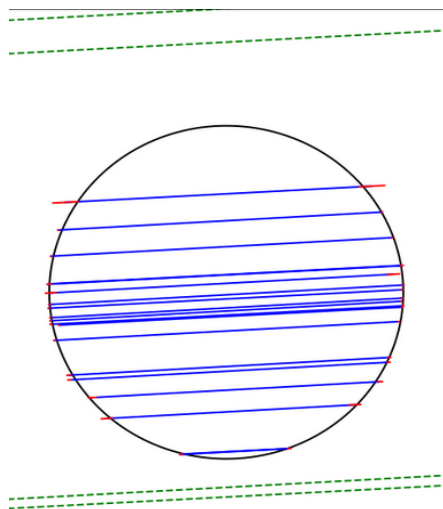
A curva de luz encontrada através da análise destes 8 frames foi o equivalente às partes da curva original mostradas abaixo.





A curva ficou com forma decente e cumpriu com o objetivo do trabalho. É possível ver claramente o evento acontecendo, embora tenha pouquíssimas informações relevantes (não sendo possível, por exemplo, encontrar o tempo de ingresso e egresso de forma precisa devido a falta de informações).

No projeto de IC, os tempos de ingresso e egresso são de suma importância pois são 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”