



Ocultação estelar por Umbriel – satélite de Urano

S. Santos-Filho^{1,2,3}, M. Assafin^{1,2}, B. E. Morgado^{4,2}, A. R. Gomes-Junior^{5,2}, G. Margoti⁶, G. Benedetti-Rossi^{5,2}, T. Laidler^{1,2},
F. Braga-Ribas^{6,2}, R. Vieira-Martins^{4,2}

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Observatório do Valongo, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

²Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia (LineA) e INCT, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

³Centro de Educação a Distância RJ CECIERJ/CEDERJ, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

⁴Observatório Nacional do Rio de Janeiro MCTI, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

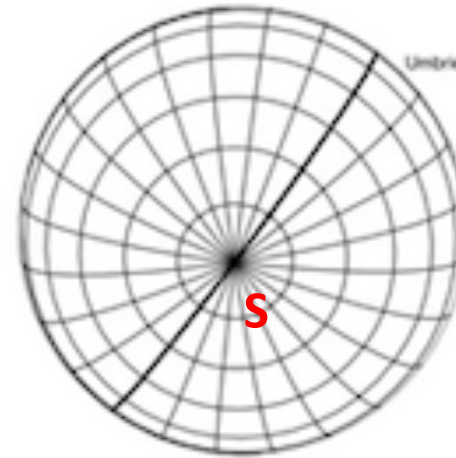
⁵Grupo de Dinâmica Orbital e Planetologia UNESP, Guaratinguetá (SP), Brasil

⁶Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba (PR), Brasil

E-mail: sergiosantos@astro.ufrj.br

Motivação e objetivo

- Quando a Voyager 2 passou por dentro do Sistema de Urano em janeiro de 1986 o hemisfério sul do planeta, e dos satélites, estavam apontados para a Terra. Atualmente a região equatorial e uma grande parte do hemisfério norte estão visíveis para observações de solo.
- As observações da Voyager 2 cobriram apenas 20% da superfície de Umbriel com sua resolução máxima (5 km/pixel) . Dessa forma o limbo do satélite foi delineado com precisão da ordem de 3 Km.
- Como não há novas missões espaciais previstas para o Sistema de Urano nos próximos anos, uma ocultação estelar é uma rara oportunidade para estudar esses corpos com precisões que rivalizam com as de missões espaciais (Sicardy et al., 2011).
- Além disso, a observação positiva de uma ocultação estelar fornece um forte resultado astrométrico, importante para o aprimoramento da órbita.
 - Com esta ocultação observada na América do Norte em 21/Set./2020 iremos obter medidas das dimensões do satélite e comparar com as obtidas pelos investigadores da Voyager 2.



Orientação do satélite em Jan/1986, época da passagem da Voyager 2, para um observador na Terra.

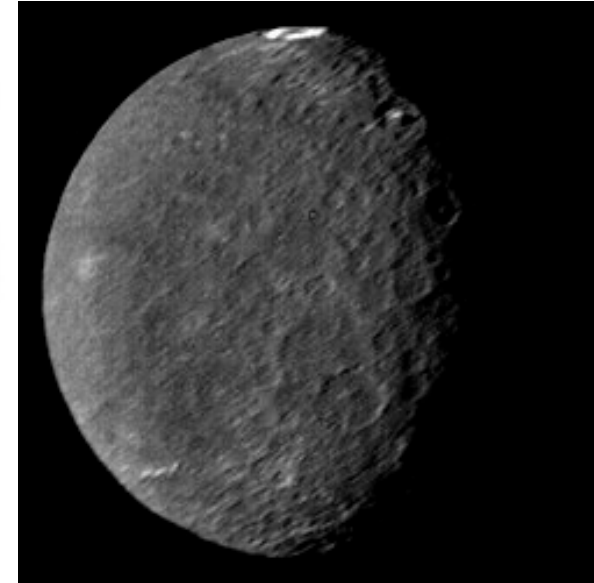
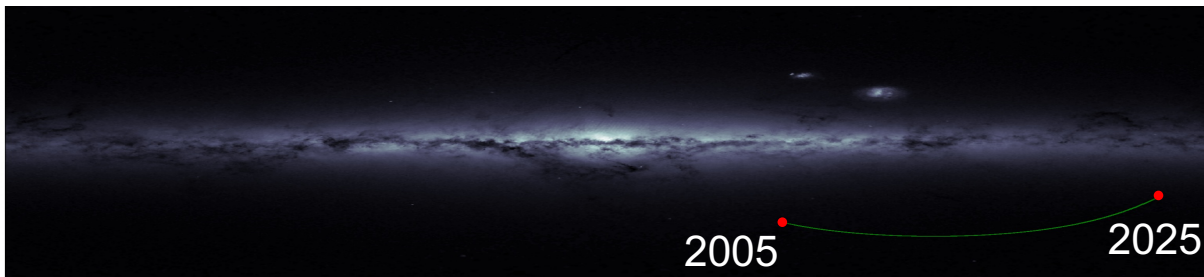


Imagem da parte sul de Umbriel obtida pela Voyager 2.

Predição e observações do evento

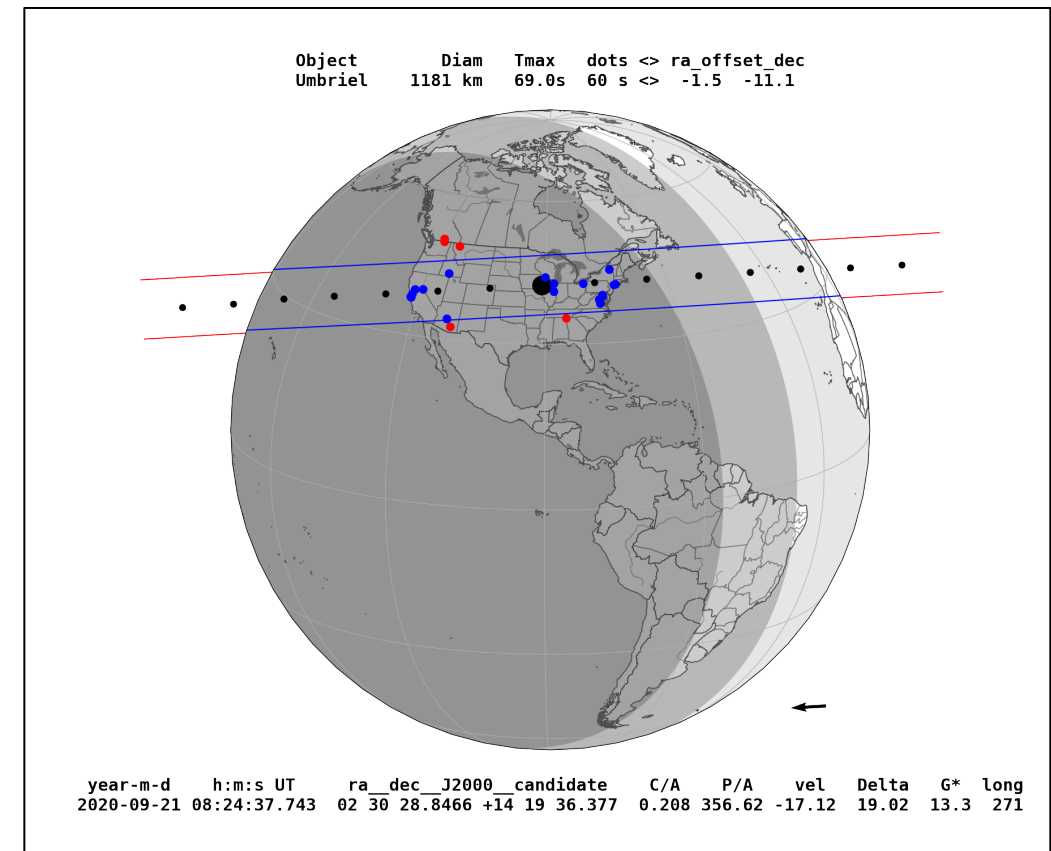
- Mapa do evento, com o caminho da sombra sobre a superfície da Terra, e sua posição (os pontos) a cada 60s. O ponto maior corresponde à posição da sombra no instante da máxima aproximação, previsto para 2020-09-21 08:24:36 TU.
- Evento raro, uma vez que Urano está passando por uma região do céu longe do plano galáctico.
- A predição foi feita por A. R. Gomes-Junior, utilizando o **SORA**.

<https://sci.esa.int/web/gaia> e B.E.Morgado



Trajetória da Urano no céu em coordenadas galácticas – 2005 a 2025.

SORA: (Stellar Occultation Reduction and Analysis – Gomes-Junior, Morgado et al. 2021).



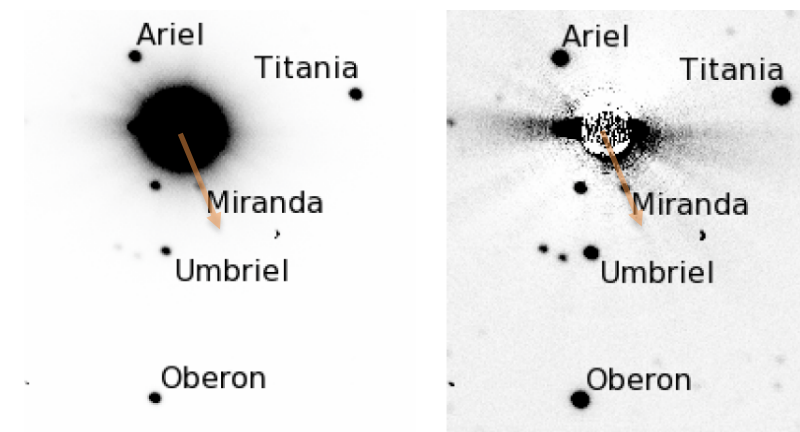
A ocultação foi observada em 24 localidades nos EUA e no Canadá:

- 19 observações positivas.
- 5 observações negativas.

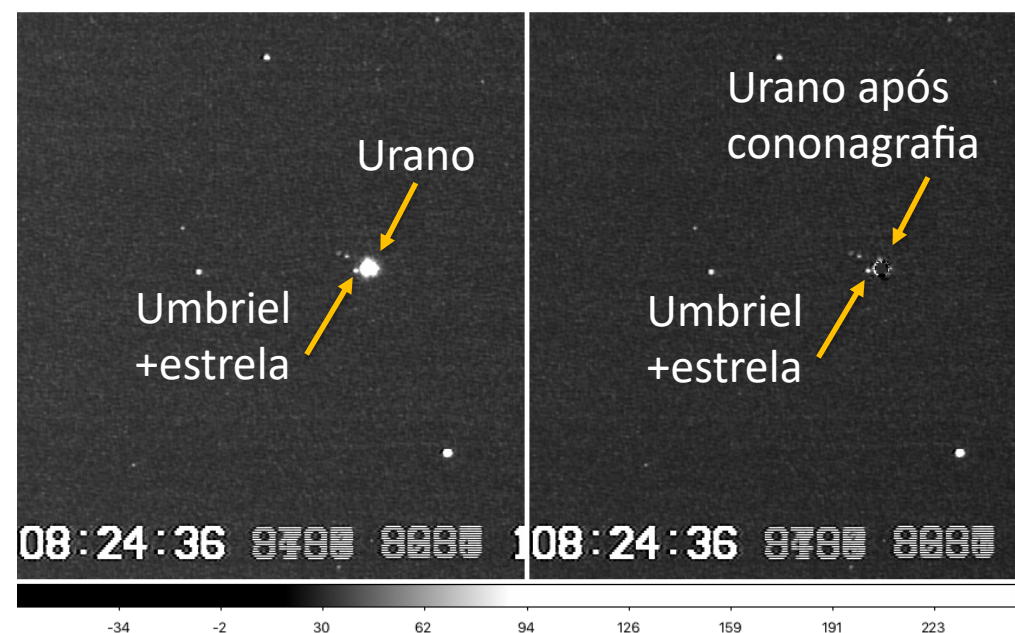
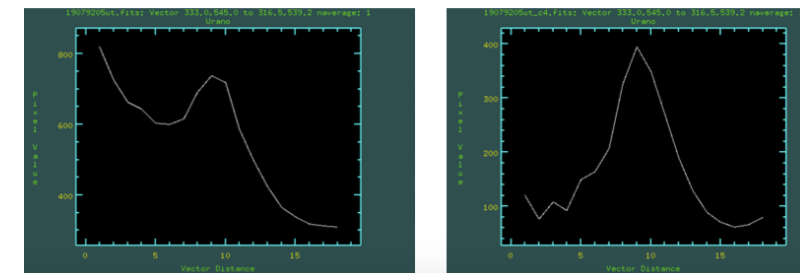
Tratamento dos dados

- A maioria das observações foi feita em vídeo e com instantes gravados nas próprias imagens.
- Conversão de vídeo para *FITS* realizada por G. Benedetti-Rossi.
- Como o evento acontece com pequena distância angular para Urano utilizamos a coronagrafia digital, um algoritmo do pacote **PRAIA** capaz de subtrair a contribuição da luz espalhada de Urano em cada pixel, permitindo melhor centragem e maior refinamento da fotometria.

PRAIA: (Platform for Reduction of Astronomical Images Automatically – Assafin et al., 2011).



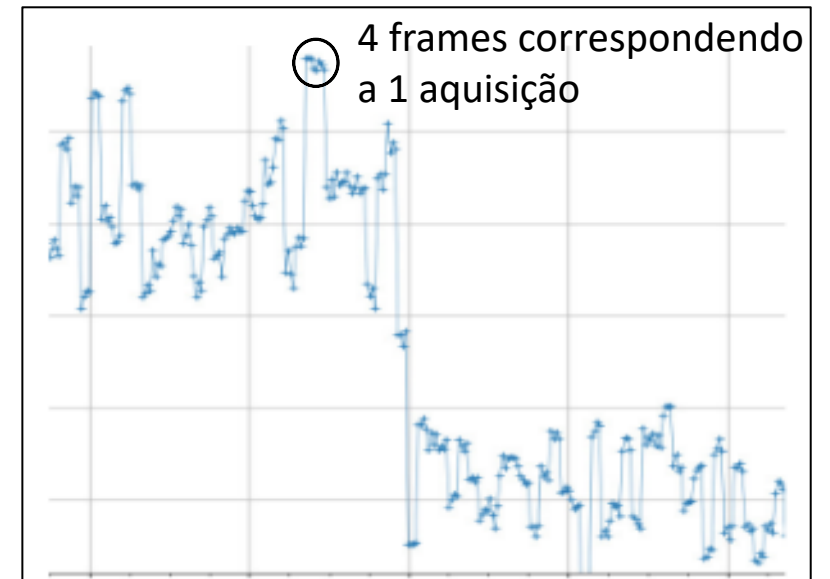
Perfil de fluxo do centro de Urano em direção a Miranda



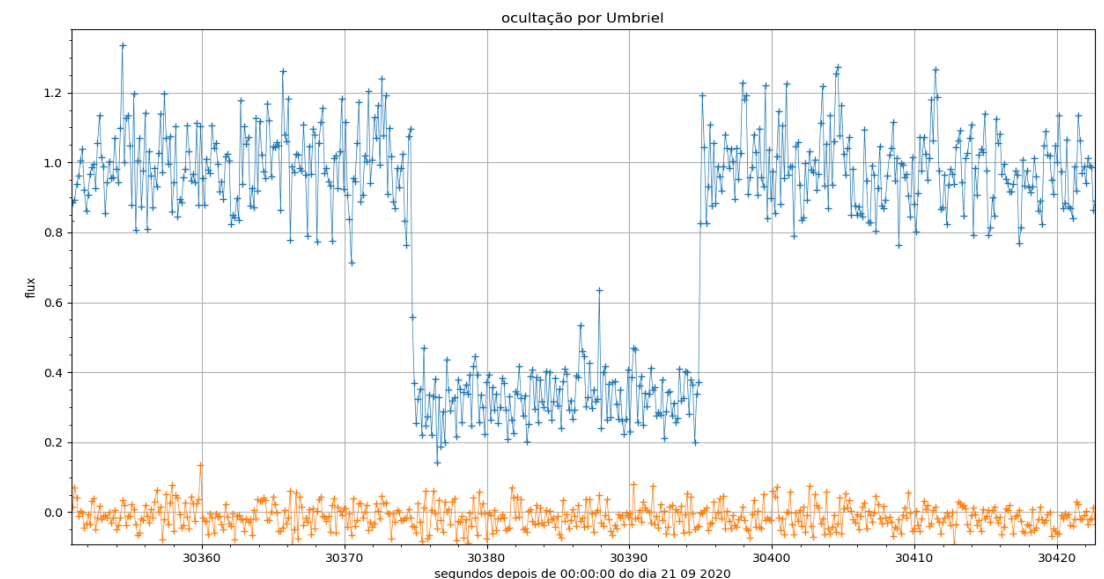
Simetria do perfil de fluxo recuperada

Combinação de imagens e fotometria

- O processo de conversão de vídeo pode gerar mais de um frame para cada aquisição.
- No exemplo ao lado 4 frames correspondem a 1 aquisição.
- Combinação de frames referentes ao mesmo instante feita em Python por G. Margoti.
- Atualização padronizada dos *headers* com os instantes e tempos de exposição.

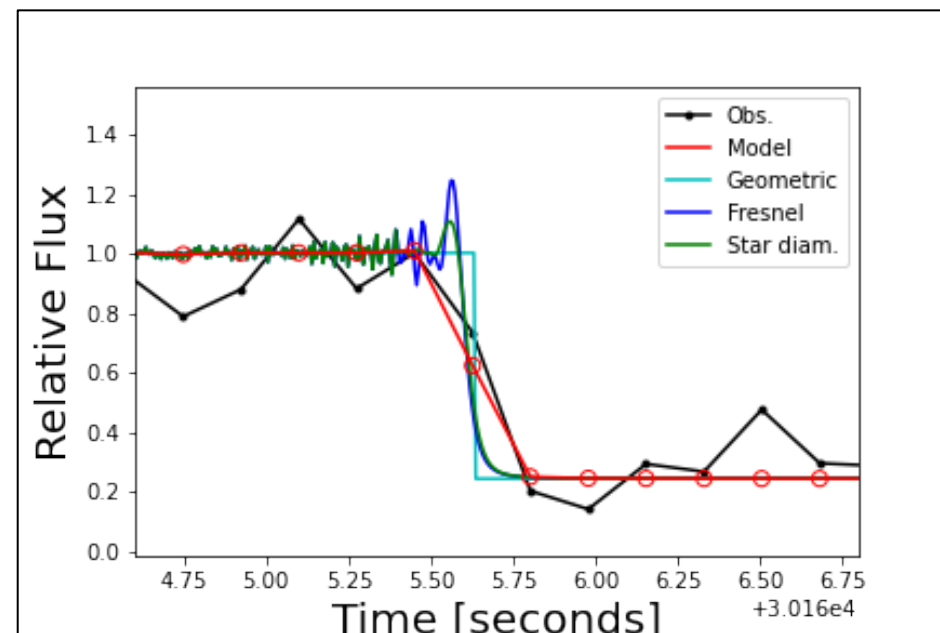
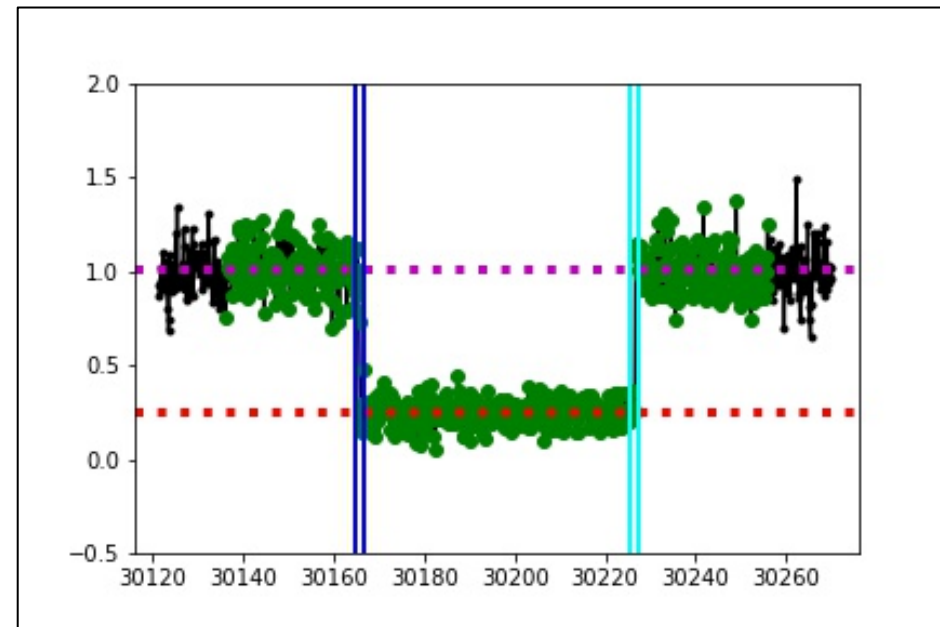


- Fotometria feita com o pacote **PRAIA**.
- Obtenção das curvas de luz com dispersões típicas de 10%, com poucas curvas mais dispersas do que 15%.



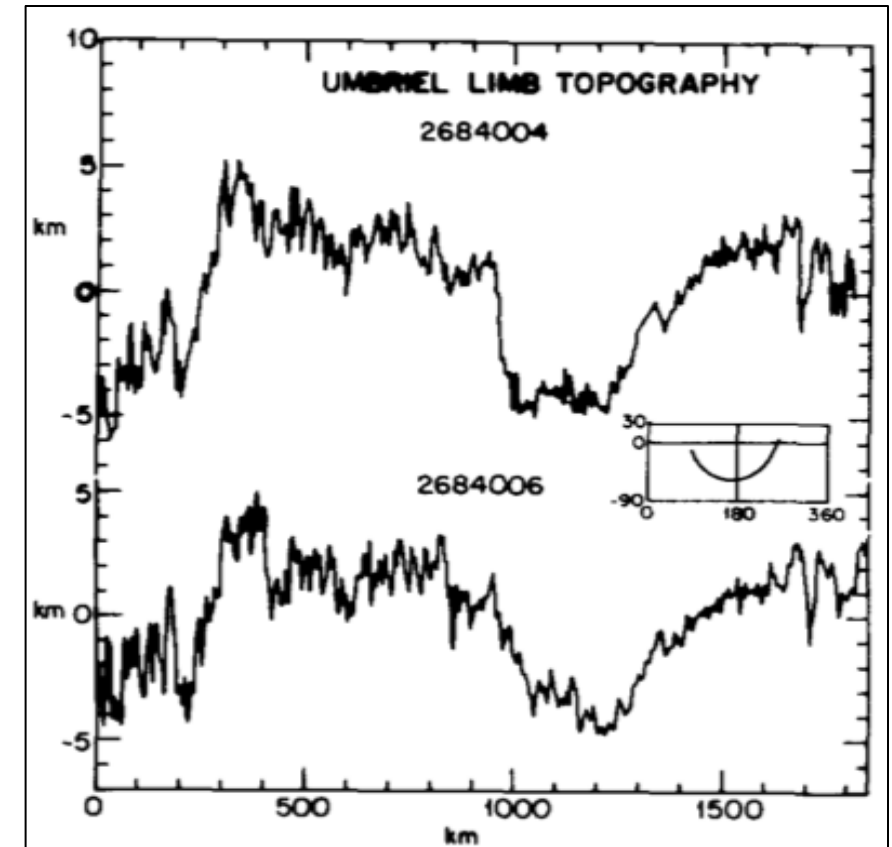
Análise das curvas de luz

- Os instantes de imersão e emersão da estrela atrás do corpo são obtidos com o **SORA** considerando os efeitos da difração, do diâmetro aparente da estrela e do tempo de integração.
- Instantes determinados com erros típicos menores do que 0.1 s.



Considerações sobre o erro do modelo

- Topografia do limbo de Umbriel determinada a partir de duas imagens obtidas pela Voyager 2. Os perfis, que apresentam 180° de arco, são as diferenças entre o limbo observado e a melhor elipse ajustada em cada imagem.
- A amplitude das flutuações de maior frequência (2 a 3 Km) dá indícios da precisão do método (Thomas, P. C. 1988).
 - Erro publicado para o raio equatorial 2.8 Km.
- Utilizamos valores entre 0 e 2.8 Km como erro do modelo em nossos ajustes preliminares .

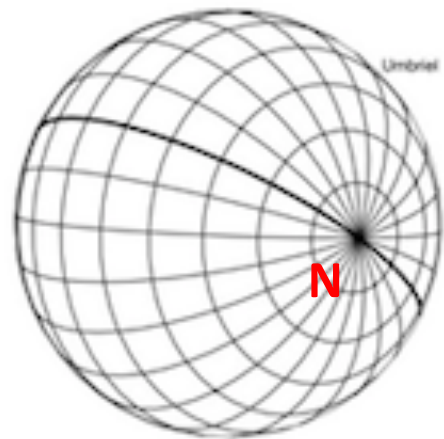


Thomas, P. C., 1988

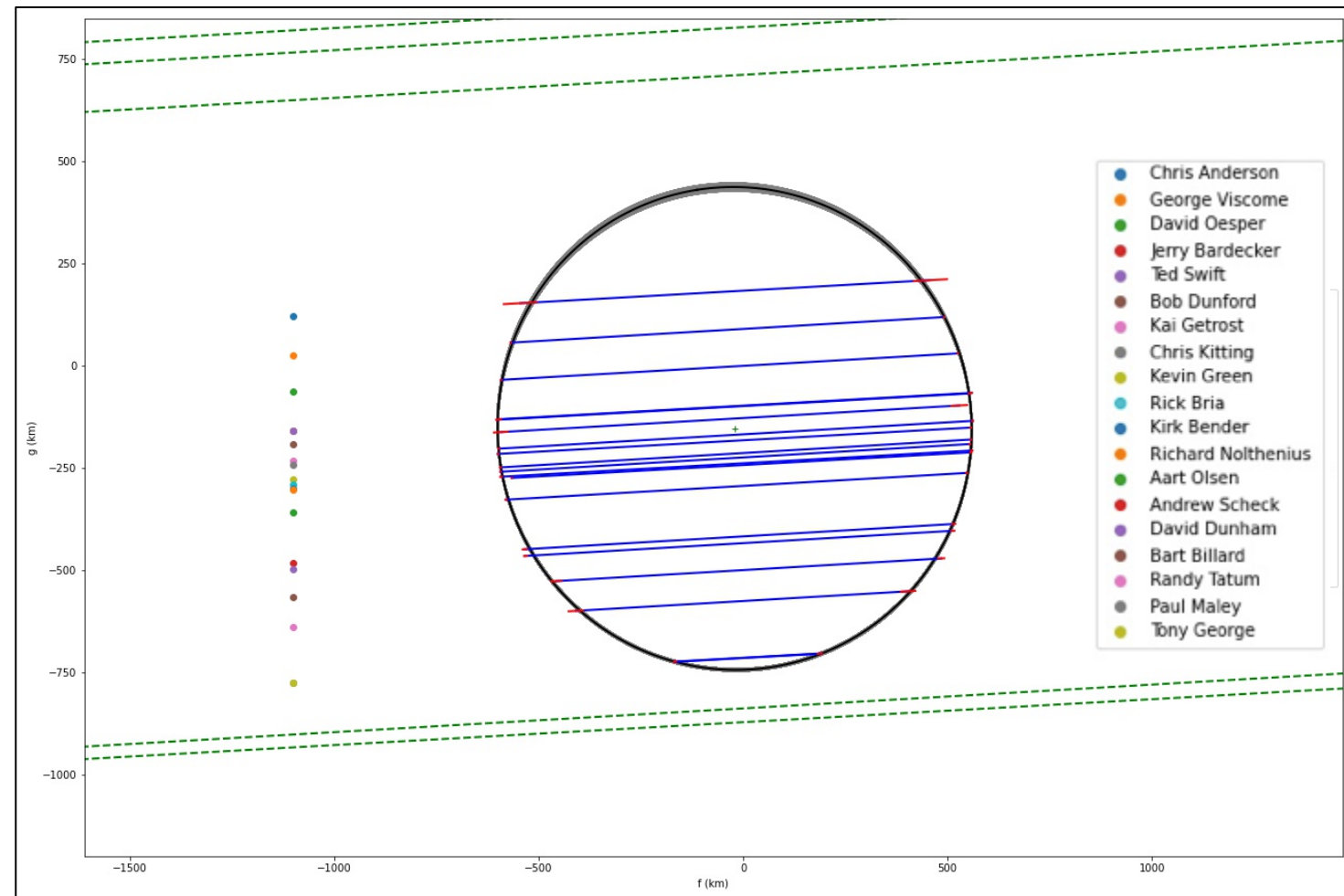
O eixo vertical está exagerado 65x

Ajuste da silhueta de Umbriel

- Foram feitos ajustes de círculo e elipse aos pontos de imersão e emersão das curvas de luz, considerando diferentes valores estimados para o erro do modelo.
- Erro do modelo adicionado aos erros da fotometria de cada corda.



Orientação do satélite no momento da ocultação, em Set./2020, para um observador na Terra.



Resultados preliminares – dimensões de Umbriel

- Faltam 2 curvas positivas para serem reduzidas.
 - Cordas com dificuldades na fotometria.
 - Instantes informados pelos observadores sendo utilizados nos ajustes.
- Refinamentos em todas as outras são esperados.
- Observações negativas sendo reduzidas sem surpresas.

Ajuste	Erro do modelo (Km)	Raio equatorial (Km) +/- 3 sigma	Achatamento	Raio equivalente (Km)
Voyager 2 - Círculo	2.8 assumido como erro do método	584.7 +/- 2.8	-----	-----
Ocultação - Círculo	0.0	582.505 +/- 0.412	-----	-----
Ocultação - Círculo	0.412	582.279 +/- 0.537	-----	-----
Ocultação - Círculo	2.8	580.623 +/- 1.837	-----	-----
Ocultação - Elipse	0.0	591.466 +/- 0.728	0.027 +/- 0.002	583.4
Ocultação - Elipse	0.728	589.063 +/- 3.177	0.014 +/- 0.006	584.9
Ocultação - Elipse	1.5	588.300 +/- 5.162	0.012 +/- 0.010	584.8
Ocultação - Elipse	2.8	590.740 +/- 8.060	0.018 +/- 0.015	585.4

Próximos passos

- Consolidação da fotometria.
- Novos ajustes de silhueta.
- Refinamentos nos cálculos dos instantes em função das velocidades obtidas para cada corda.
- Utilização da orientação dos polos de Umbriel no momento da ocultação para o ajuste do ângulo de posição da elipse.
- Ajuste definitivo da elipse.
- Publicação.

Agradecimentos e Referências

➤ Agradecemos em especial aos observadores voluntários

- Thomas, P. C. 1988, Icarus 73, 427–441
- Sicardy, B. et al. 2011, Nature, 478–493
- Assafin, M. et al. 2011, Gaia FUN-SSO, 85
- Gomes-Junior, A. R., Morgado, B. E. et al. 2021, MNRAS, submitted.
- https://pds-rings.seti.org/tools/viewer3_ura.shtml