

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EROS DE OLIVEIRA GRADOVSKI

A UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE OCULTAÇÕES ESTELARES NA EDUCAÇÃO
BÁSICA

CURITIBA
2022

EROS DE OLIVEIRA GRADOVSKI

A UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE OCULTAÇÕES ESTELARES NA EDUCAÇÃO
BÁSICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
setor de Ciência Exatas da Universidade Fede-
ral do Paraná como requisito parcial à obtenção
do título de Licenciado em Física.

Orientadores: Prof. Dr. Dietmar William Foryta
Prof. Dr. Felipe Braga Ribas

CURITIBA
2022



ATA DA APRESENTAÇÃO E ARGUIÇÃO ORAL DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 12 dias do mês de setembro de 2022, as 14 horas e 30 minutos, na sala PE04, do Bloco II, Centro Politécnico, na Universidade Federal do Paraná, compareceu o acadêmico **Eros de Oliveira Gradovski**, aluno do Curso de Licenciatura em Física do Setor de Exatas da Universidade Federal do Paraná, para fazer a apresentação e arguição oral relativa ao seu **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)**, intitulado “**A Utilização da Técnica de Ocultações Estelares na Educação Básica.**”, orientado pelo Professor Dr. Dietmar William Foryta, e Coorientado pelo Prof. Dr. Felipe Braga Ribas, perante a banca examinadora, que foi assim constituída: Prof. Dr. Dietmar William Foryta, como Presidente da Banca, o Prof. Dr. Felipe Braga Ribas, como 1° Membro da Banca e a Profª. Drª. Ivanilda Higa, como 2° Membro da Banca. Após assistirem a exposição do acadêmico acima nomeado e arguirem-no sobre diferentes aspectos do TCC apresentado, os membros da banca reuniram-se para atribuição da nota final, a qual foi 95 (noventa e cinco pontos), de acordo com o Relatório de Avaliação de TCC, que acompanha esta Ata, estando o acadêmico aprovado na disciplina TCC2, com a recomendação de que todas as sugestões de correções indicadas pela Banca sejam atendidas e que a versão definitiva do TCC seja entregue conforme as regras estabelecidas pelo Colegiado de Curso e no prazo fixado. A nota final foi comunicada ao acadêmico. Nada mais havendo a ser tratado, o Presidente da Banca declarou encerrada a seção e todos os membros da Banca assinaram a presente Ata.

Prof. Dr. Dietmar William Foryta
Presidente da Banca

Prof. Dr. Felipe Braga Ribas

1° Membro da Banca

Profª. Drª. Ivanilda Higa

2° Membro da Banca

Eros de Oliveira Gradovski

Orientando

AGRADECIMENTOS

Escrever uma monografia e concluir o curso de física definitivamente não foi uma tarefa fácil, porém também não foi algo que realizei sozinho. Diversas pessoas contribuíram para minha formação e para realização deste trabalho, em especial gostaria de fazer alguns agradecimentos:

Aos professores que me instruíram durante este período de graduação, em especial meus orientadores, prof. Dr. Dietmar William Foryta e prof. Dr. Felipe Braga Ribas. Sem vocês este trabalho não seria possível.

À minha mãe Rosemery de Oliveira, por todo o apoio durante o curso e por fornecer as condições necessárias para que eu pudesse focar nos estudos. Esta conquista é tanto minha quanto sua.

Ao meu irmão Raul O. Gradovski, pelas conversas, encorajamentos e por manter um ambiente saudável para que eu conseguisse estudar. Me espelhei muito em você.

À minha segunda mãe Iris A. Souza, que por mais que eu saiba que não poderá mais ler este agradecimento, ou vivenciar minha formação, foi uma pessoa muito importante para que eu conseguisse concluir o curso. Sempre se preocupou com meu bem estar e acreditou desde o dia em que entrei na universidade que eu iria me formar e continuar estudando.

Ao meu pai Edilson Gradovski, que sempre desejou o melhor para mim e quando via algo relacionado a minha área sempre vinha conversar sobre.

Aos meus familiares, que sempre se demonstraram muito fascinados pelos temas que estudo, gerando boas conversas e me encorajando a continuar.

À minha namorada Sara L. Clem por ter partilhado tanto dos momentos felizes, quanto dos momentos difíceis do curso comigo. Obrigado pelo apoio.

Aos meus amigos, em especial Elvis A. M. T. Santos, pelas boas conversas sobre física e pela ajuda nos momentos de dificuldade. Muitas vezes vocês me ajudaram a achar respostas de questões que eu acreditava serem impossíveis de solucionar.

Por último gostaria de agradecer a Universidade Federal do Paraná pelas oportunidades e estruturas que possibilitaram meu aprendizado nesta área.

RESUMO

A técnica de ocultações estelares é comumente utilizada por astrônomos profissionais para obter principalmente dimensões dos objetos ocultadores, e eventualmente dados do ambiente próximo a estes objetos, como anéis, satélites naturais ou até mesmo a atmosfera. Tendo em vista este contexto, o presente trabalho reúne a aplicação desta técnica com a sala de aula da educação básica, visando integrar o ensino e a pesquisa nesta área. São apresentados todos os processos para obtenção e análise de dados de ocultações estelares, onde os *softwares* utilizados foram escolhidos de forma a facilitar o uso por parte de professores e alunos. O objeto (3451) Mentor foi usado como exemplo para obtenção de dados, sendo realizada a fotometria da curva de luz obtida para ocultações por este objeto, seguido do ajuste à queda no fluxo da estrela alvo para obtenção dos tempos de imersão e emersão das ocultações, resultando em cordas de ocultação que nos indicam possíveis formas para o corpo, em que neste caso apresentaram características inovadoras com relação a seu formato, sendo este um possível objeto duplo, ou um corpo que possui uma grande depressão em sua forma.

Palavras-chave: Ensino de Astronomia, Ocultações estelares, (3451) Mentor.

ABSTRACT

The stellar occultation technique is commonly used by professional astronomers to obtain dimensions of the occulting object, and eventually some characteristics of the environment around them, such as rings, natural satellites or even atmosphere. Given this context, the present work brings together the application of this technique to classroom in the basic education, aiming to integrate teaching and research in this area. All the processes to observe and analyze stellar occultations are presented at this work, where the software used was chosen in order to easy the use by teachers and students. The (3451) Mentor object was used as an example for gathering data and the analysis process results, resulting in innovative characteristics about its format, presenting characteristics of a double object, or of a body that has a large depression in its body.

Keywords: Astronomy Teaching, Stellar Occultations, (3451) Mentor.

SUMÁRIO

Sumário	5
1 Introdução	6
2 A técnica de ocultações estelares	8
3 Predição de ocultações	11
4 Observação de uma ocultação	15
4.1 Métodos Visuais	15
4.2 Métodos não Visuais	17
5 Análise de ocultações	19
6 Análise de ocultações estelares por (3451) Mentor	26
6.1 Ocultação de 22/07/2019	27
6.2 Ocultação de 20/03/2020	33
6.3 Ocultação de 15/10/2021	37
7 Aplicação em sala de aula	43
8 Conclusão	47
9 Referências	48
10 Anexo	50

1 INTRODUÇÃO

O estudo da astronomia está previsto desde os primeiros anos da educação básica segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018). A abordagem deste tema pode se dar de diferentes maneiras, tanto durante as aulas de ciências para o ensino fundamental, quanto nas aulas de física para o ensino médio. Pensando neste contexto, o presente trabalho pretende reunir a técnica de ocultações estelares, utilizada profissionalmente por astrônomos, com a sala de aula da educação básica, fazendo uma ligação entre a pesquisa e o ensino nesta área. Langhi (2009) nomeia este modelo de trabalho que unifica a comunidade científica, amadora e escolar de "CIAMES", fazendo referência a palavra "siamês", que indica similaridade entre os pares. Este mesmo autor ressalta que mesmo havendo diferentes interesses por cada uma das comunidades, o resultado final contribui para todas, motivando o ensino e a pesquisa em Astronomia. Existem diversos trabalhos com este enfoque para diferentes áreas da astronomia, como por exemplo, Horvath (2013) realiza uma proposta para o ensino de astrofísica estelar no ensino médio, onde em seu trabalho são descritas atividades observacionais e cálculos para que o professor possa tratar deste tema em sala de aula. Portanto, o presente trabalho pretende realizar algo similar, porém visando uma área de pesquisa totalmente diferente.

De forma geral as ocultações estelares são utilizadas para estudar todos os objetos do Sistema Solar, obtendo um destaque com relação aos pequenos corpos, tendo em vista que este método obtém grande precisão com relação a forma destes corpos mesmo que estes estejam muito distantes. A melhor compreensão dos pequenos corpos nos fornece principalmente uma base para entendermos o processo evolutivo do Sistema Solar. Estes são facilmente encontrados em nosso sistema, onde boa parte estão concentrados em duas regiões, a primeira delas é o cinturão de asteroides, que se localiza entre a órbita do planeta Marte e Júpiter, e a segunda é o cinturão de Kuiper, localizado após a órbita de Netuno. Para além destas duas regiões principais, também podemos encontrar alguns corpos próximos a planetas, como ocorre com objetos que orbitam próximos à Terra (NEOs). Estes em especial possuem extrema importância de estudo, por em alguns casos, apresentarem uma possível colisão com nosso planeta. No dia 30 de junho de 1908 houve um incidente onde um asteroide colidiu com a Terra devastando mais de 2 mil quilômetros quadrados de floresta em Tunguska na Sibéria, em memória deste, a comunidade científica fundou uma organização chamada *Asteroid Day* com o objetivo de instruir a população sobre a importância do estudo destes objetos, onde posteriormente em 2016 as Nações Unidas declararam o dia do asteroide como um dia para conscientização sobre este tema, sendo lembrado todo dia 30 de junho (FERREIRA, 2021).

A estrutura deste trabalho foi pensada então em seis partes, começando com uma visão geral sobre a técnica, partindo para como prever uma ocultação, como observá-la e analisá-la. Ao fim temos um exemplo de todo processo realizado para o objeto (3451) Mentor e uma aplicação da técnica na sala de aula da educação básica.

2 A TÉCNICA DE OCULTAÇÕES ESTELARES

Uma ocultação estelar ocorre no momento em que um objeto bloqueia parcialmente ou totalmente a luz advinda de uma estrela para um observador na Terra. Um exemplo muito comum de ocultação estelar é o eclipse solar, onde este ocorre quando a trajetória da Lua coincide com a do Sol para um determinado observador. A figura 2.1 representa a visão deste fenômeno onde quase toda luz do Sol é bloqueada.



Figura 2.1 – Imagem de um eclipse solar visto da terra. Fonte: JELETIC (2017).

No caso do eclipse solar, este só será visualizado por aqueles que estiverem sob a sombra projetada pela Lua na Terra, isto pode ser visualizado na figura 2.2, onde observadores que estiverem acima ou abaixo da sombra, não visualizarão o eclipse. O mesmo processo pode ser pensado para asteroides, utilizando estrelas distantes ao invés do Sol. Para este caso dificilmente será possível observar o brilho do objeto, porém quando este passa em frente a estrela é projetado uma sombra sobre a Terra, onde um observador sobre esta, veria a estrela desaparecendo por um alguns instantes e reaparecendo, muito similarmente ao caso do eclipse solar. Neste caso podemos considerar a estrela como sendo uma fonte pontual de luz, devido a sua distância da Terra.

Como podemos visualizar também na figura 2.2 a sombra deste objeto nos fornece uma boa noção de sua forma e tamanho, no caso da Lua isto é óbvio, pois podemos visualizá-la facilmente a olho nú, porém para o caso de um asteroide não tão próximo, cuja a forma e tamanho podem ser variados, a observação desta sombra pode nos fornecer uma boa noção de sua aparência. Portanto, a técnica de ocultações estelares consiste na observação de uma ocultação por diversos observadores, a fim de determinarmos principalmente a forma e tamanho do objeto ocultador. Existem diversas outras maneiras de estudarmos estes corpos, mas além desta técnica apresentar uma grande precisão, ela possui um caráter visual muito forte, tornando-se interessante para o ensino em sala de aula.

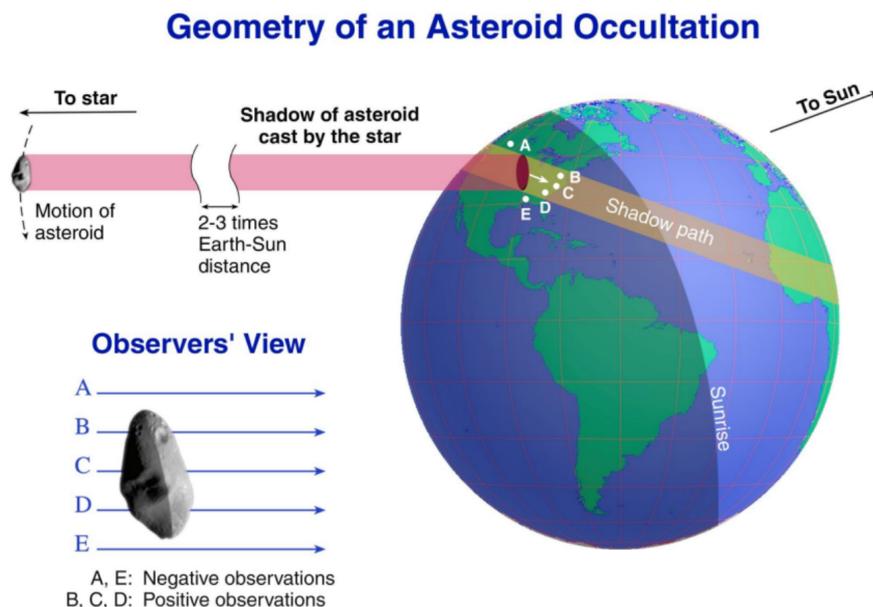


Figura 2.2 – Ilustração de uma ocultação estelar, onde a luz advinda de uma estrela é bloqueada por um objeto do sistema solar, formando uma sombra sob a terra. Através desta figura podemos notar que diferentes observadores verão diferentes partes do objeto, onde neste exemplo os observadores A e E não visualizam a ocultação por estarem fora do local de passagem da sombra e os observadores B, C e D visualizam diferentes frações do mesmo objeto. Fonte: *International Occultation Timing Association (IOTA)*.

A determinação do tamanho e da forma virá através da aproximação de uma elipse para as cordas de ocultação obtidas pelos observadores, isto é, uma vez que uma determinada escola observar uma ocultação, o que ela estará vendo é o desaparecimento e reaparecimento da estrela durante um instante de tempo, ou seja uma parte apenas da sombra daquele objeto. Caso haja um outro observador mais ao norte ou ao sul que também tenha visualizado esta mesma ocultação, este verá outra fração da sombra, portanto quanto maior o número de observadores, maior será a quantidade de cordas obtidas, resultando em uma melhor aproximação da forma do objeto. A figura 2.3 representa uma ilustração de quatro cordas de ocultação, onde estas seriam usadas para compor uma curva com o formato do objeto ocultador.

Partindo para parte observacional das ocultações, alguns pontos devem ser levados em consideração. O primeiro deles é que para observar a ocultação de uma estrela faz-se necessário o auxílio de um equipamento óptico, podendo ser um telescópio, uma luneta ou um binóculo. O equipamento óptico também terá uma limitação de estrelas cuja observação será possível. Equipamentos mais potentes, como telescópios grandes, conseguem captar estrelas com um brilho menor, fazendo com que aumente o número de estrelas passíveis de ocultações que este observador conseguirá alcançar, enquanto um binóculo por exemplo, conseguirá visualizar apenas estrelas mais brilhantes, diminuindo o número de estrelas possíveis de ocultação

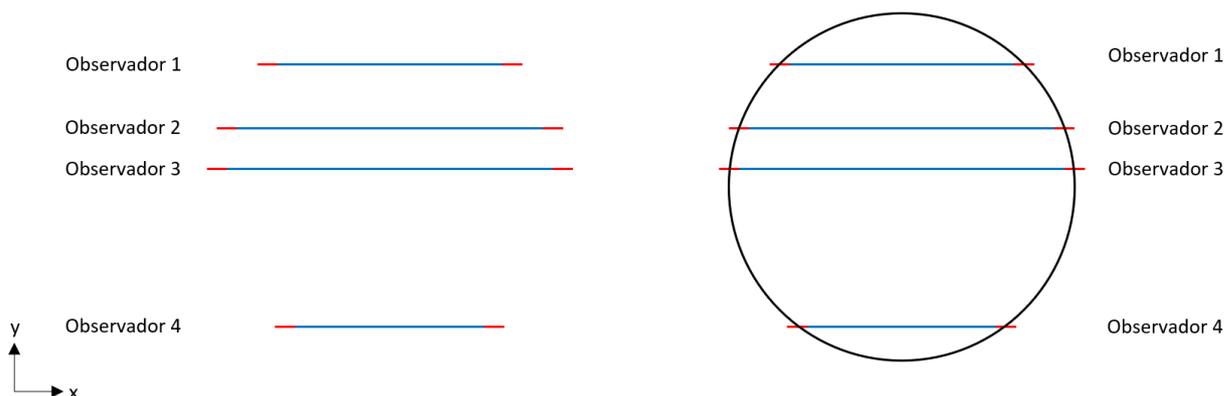


Figura 2.3 – Ilustração de cordas de ocultação para quatro observadores em diferentes locais, onde no caso de uma ocultação real os eixos “x” e “y” representariam a dimensão do objeto em km. As linhas azuis representam a corda de ocultação, possuindo uma pequena barra em vermelho que representa o erro atrelado a estas. À direita temos uma elipse ajustada ao formato do corpo.

para aquele determinado observador. Deve-se ter em mente também que ocultações ocorrem todos os dias, porém pode acontecer de não necessariamente a sombra de uma ocultação passar por onde está localizada a escola de um determinado professor, fazendo com que este não consiga visualizar uma ocultação naquele semestre. Uma alternativa para esta ocasião seria a realização de uma campanha de observação, onde esta ocorre quando um observador se desloca para o local onde há a passagem da sombra para observá-la.

Esta técnica também é muito utilizada para analisarmos planetas anões do Sistema Solar, como por exemplo (134340) Plutão, (1) Ceres, (136108) Haumea, (136199) Éris e (136472) Makemake. Objetos menores que se encontram para além da órbita de Netuno (TNOs), também são alvos desta técnica, principalmente por obtermos grande precisão em sua forma, mesmo que estes estejam a grandes distâncias da Terra.

3 PREDIÇÃO DE OCULTAÇÕES

O primeiro passo para analisar uma ocultação estelar é a sua predição. Para que um professor possa usar esta técnica em sala de aula faz-se necessário que este saiba primeiro quando uma ocultação cuja sombra passará por sua escola irá acontecer. Para isto existem os mapas de predição, estes são divulgados e podem ser facilmente acessados em sites como: "Previsões de Ocultações Estelares para o Brasil"¹, "*Asteroid Occultation*"², ou "*Lucky Star*"³.

Uma vez que o professor saiba que um evento irá acontecer ele pode confeccionar também seu próprio mapa, para isto pode-se utilizar um *software* chamado *Stellar Occultation Reduction Analysis* (SORA) (GOMES-JÚNIOR, 2022). Este programa não só servirá para realização do mapa, como também para análise da ocultação posteriormente. Para realização do mapa de predição faz-se necessário saber apenas o nome do objeto que será analisado e a data do evento.

O *software* irá buscar uma efeméride, ou seja uma tabela astronômica que contém dados da posição do objeto ao longo do tempo, e irá compará-la com um catálogo de estrelas para identificar se há a passagem do objeto em frente a uma estrela para um observador na Terra. Caso isto ocorra pode-se gerar um mapa de predição similar ao ilustrado na figura 3.1.

A leitura correta deste mapa é de extrema importância para que o evento possa ser visualizado. Vale a pena ressaltar que o horário indicado está em coordenadas universais de tempo (UTC), portanto deve-se converter o horário para o referente país onde se pretende observar a ocultação. Conversores de UTC para o fuso horário de cada país são facilmente encontrados em *websites*, onde para o caso do Brasil o fuso horário de Brasília sempre está 3 horas atrasado com relação ao UTC, portanto a ocultação ilustrada na figura 3.1 ocorreria às 03:13:37.680 BRT. Este horário fornecido refere-se ao momento de maior aproximação entre a estrela e o objeto para o geocentro, ou seja o ponto preto grande representado no mapa. Para sabermos o momento em que a sombra passa por uma determinada cidade, antes ou após o ponto preto maior, basta analisarmos os pontos menores, estes estão espaçados de 1 em 1 minuto com relação ao outro, desta forma saberemos aproximadamente o horário que a sombra passará por cada região delimitada. Para saber se deve-se somar ou subtrair os

¹ GRADOVSKI, E. O.; BRAGA-RIBAS, F.; PEREIRA, C. L. **Previsões de Ocultações estelares para o Brasil**. Disponível em: <http://devel2.linea.org.br/~braga.ribas/Brasil_ocult/>. Acesso em: 17 Fev. 2022.

² PRESTON, S. **Asteroid Occultation**. Disponível em: <<https://asteroidoccultations.com/>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

³ SICARDY, B. et al. **Lucky Star**. Disponível em: <<https://lesia.obspm.fr/lucky-star/index.php>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

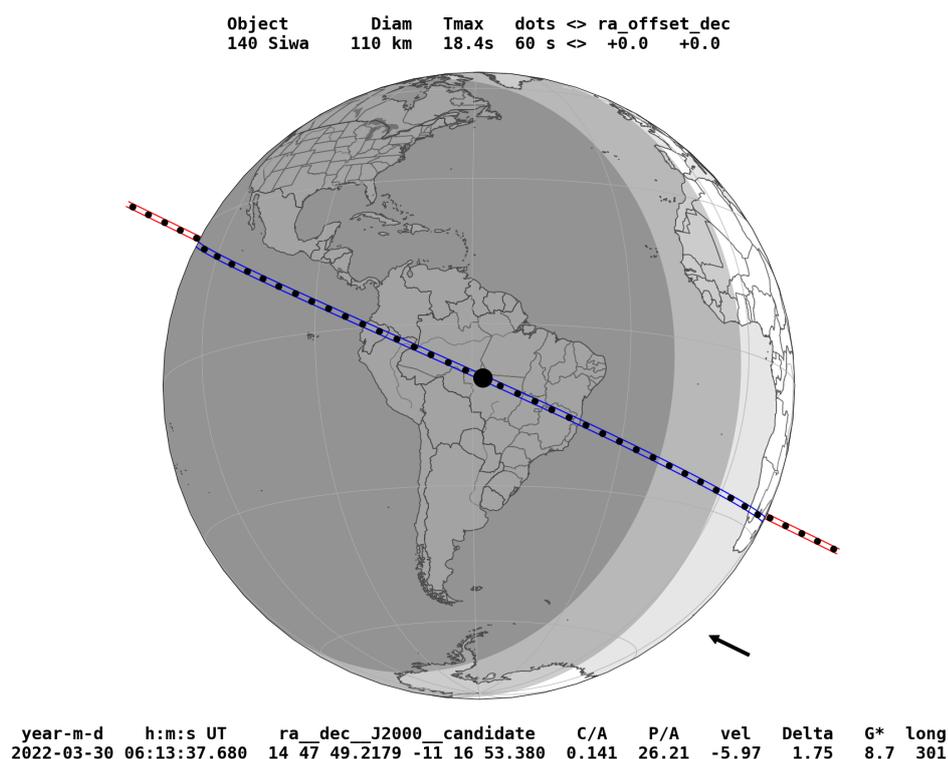


Figura 3.1 – Mapa de predição: As linhas em azul contínuas representam a passagem da sombra do objeto sobre a Terra no momento da ocultação. O ponto preto grande representa o momento de maior aproximação entre a estrela e o objeto. A seta no canto inferior direito indica a direção e o sentido para o qual a sombra irá se locomover. A diferença de coloração no planeta representa a noite, o crepúsculo e o dia. Na parte inferior temos a data e hora em coordenadas universais de tempo (UTC), seguido da posição do evento em ascensão reta e declinação, a distância mínima entre a estrela e o objeto (C/A) em segundos de arco, ângulo de posição (P/A) em graus, velocidade da sombra sobre a Terra em km/s, distância do objeto ao centro da Terra em unidades astronômicas (UA), magnitude normalizada da estrela e a longitude do ponto sub-planetário em graus (BRAGA-RIBAS, 2013).

minutos com relação ao ponto central, basta atentar-se a direção e sentido da seta no canto inferior direito do mapa, indicando a direção que a sombra irá percorrer.

Todo mapa de predição possui uma incerteza com relação a posição da sombra projetada sobre a Terra, isto ocorre por conta de uma imprecisão na posição da estrela e na órbita do objeto ocultador. Em alguns casos esta imprecisão é mínima, fazendo com que as chances de visualização da ocultação para observadores sobre a sombra projetada no mapa sejam muito altas, como ocorre na figura 3.1. Em outros casos teremos uma imprecisão grande com relação a órbita do objeto, portanto o mapa apresentará duas barras de erro, indicando os possíveis limites superior e inferior por onde a sombra pode passar, a trajetória do objeto será plotada na média entre as

barras de erro, conforme ilustra a figura 3.2. Nestes casos, múltiplos observadores não só auxiliam para melhor determinação da forma do corpo, como também para uma maior chance de observação, visto que a área necessária a ser coberta para visualizar o evento é maior.

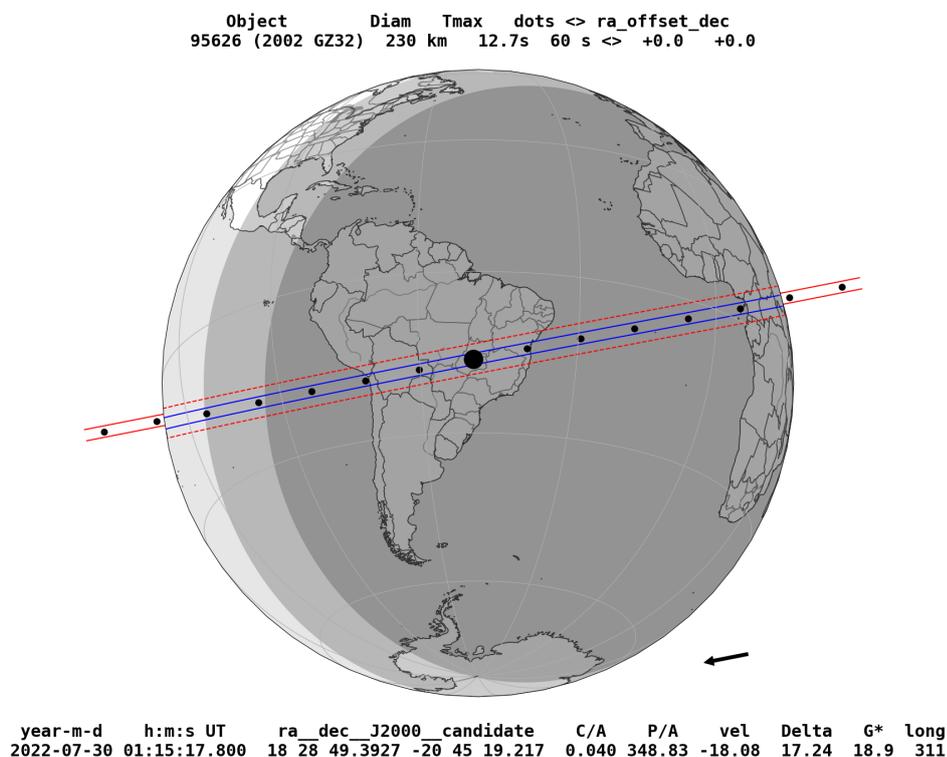


Figura 3.2 – Mapa de predição cuja as barras em vermelho paralelamente a passagem da sombra representam o erro atrelado a esta.

A tentativa de visualização destes eventos contribuirá também para maior precisão na órbita do objeto. No caso da não detecção da ocultação saberemos que o corpo não passou por uma trajetória cuja sombra seria projetada sobre aquele observador, fazendo com que possamos excluí-la. Para o caso de uma detecção positiva poderemos prever as possíveis órbitas que passam por aquele determinado ponto, onde em conjunto com dados obtidos de ocultações anteriores, podemos gerar maior precisão na órbita deste objeto e conseqüentemente calcular futuros eventos para este corpo.

Para saber qual estrela deve ser observada no momento da ocultação, pode-se utilizar os valores de ascensão reta e declinação fornecidos no mapa de predição em aplicativos como o *Aladin*⁴, que possui imagens das estrelas no céu, sendo possível aumentar e diminuir o zoom no local indicado pelas coordenadas fornecidas de forma

⁴ BOCH, T.; FERNIQUE, P. **Aladin Lite: Embed your Sky in the Browser**. Disponível em: <<http://aladin.cds.unistra.fr/AladinLite/>>. Acesso em 14 set. 2022.

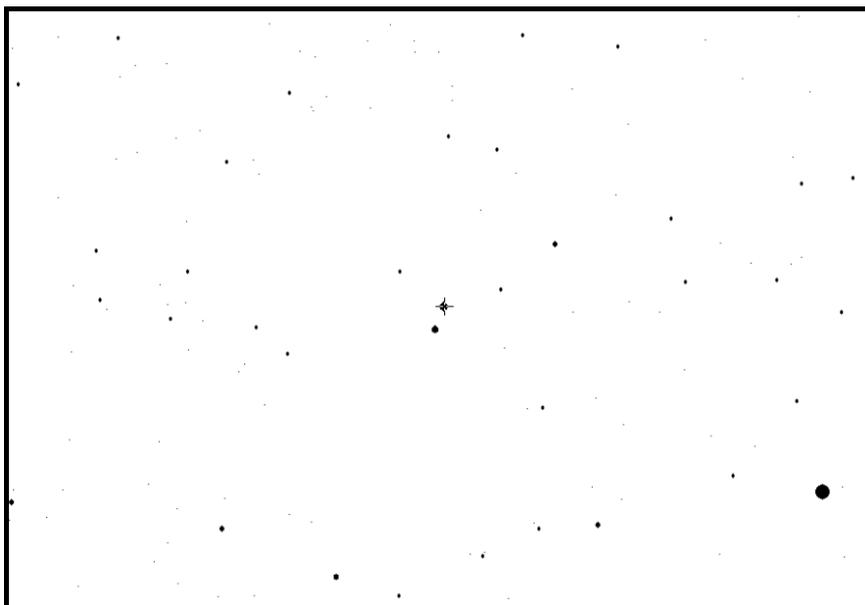


Figura 3.3 – Imagem do campo para o objeto (140) Siwa em 30 de março de 2022. Cada um dos pontos pretos representa uma estrela, onde a intensidade do ponto está relacionado com o brilho da estrela, tendo o alvo no centro da figura.

a facilitar a localização da estrela alvo no campo, como por exemplo descobrindo primeiramente em qual constelação esta se encontra. No caso do mapa da figura 3.1, o campo obtido para aquelas coordenadas pode ser visualizado através figura 3.3, onde a estrela alvo se encontra no centro.

4 OBSERVAÇÃO DE UMA OCULTAÇÃO

Uma vez que o professor saiba então quando irá ocorrer o evento de ocultação ele pode se preparar para sua observação. Como já citado anteriormente o auxílio de um equipamento óptico é imprescindível para observação de uma ocultação, quanto melhor for este equipamento, maior será o número de estrelas possíveis de ocultação para aquele observador. Telescópios refletores com uma abertura de 50 cm, em boas condições, conseguem observar eventos cuja a estrela possui magnitude $R < 18$, telescópios com 30 cm conseguem observar estrelas de magnitude $R < 16,5$, com 25 cm de abertura é possível observar magnitudes $R < 15$, e eventos com magnitude $R < 12$ podem ser observados por telescópios com 15 cm de abertura (BRAGA-RIBAS, 2013). Desta forma conseguimos ter uma ideia de como o objeto óptico pode delimitar a magnitude de estrelas possíveis de ocultação para cada observador, portanto além da localização da passagem da sombra no mapa de predição, o professor deve atentar-se a magnitude da estrela fornecida no mapa, para ter certeza que esta está compatível com o que seu objeto óptico consegue alcançar.

Caso o observador esteja utilizando um telescópio para realizar a observação, a montagem deste também terá influência sobre a qualidade dos dados finais obtidos. Telescópios com acompanhamento terão maior facilidade em observar o evento no plano do céu, seguido de montagens equatoriais (manuais) e por último altazimutais (manuais).

Partindo para o momento de observação da ocultação, esta pode ser feita de diferentes formas, dependendo dos equipamentos disponíveis ao observador. De maneira geral existem dois métodos de observação, os métodos visuais e os métodos não visuais. Em ambos os casos será necessário guardar a informação da localização do observador durante o momento da ocultação, isto é, sua latitude, longitude e altitude.

4.1 MÉTODOS VISUAIS

O método visual consiste no uso do olho do observador para observação do evento, neste caso não é necessário o auxílio de uma câmera acoplada ao telescópio para gravar o evento, porém iremos necessitar do auxílio de um cronômetro com a função *split*, ou gravador de som para determinar os instantes de ocultação (GIACCHINI, 2010)⁵.

O primeiro passo a ser feito é o ajuste do horário do observador, como em alguns casos se trata de um evento rápido podendo durar segundos, faz-se necessário

⁵ GIACCHINI, B, L. **Observação e Registro de Ocultações de Estrelas por asteróides**. Disponível em: <<http://www.rea-brasil.org/ocultacoes/observar.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2022.

um relógio preciso para determinar o tempo que a estrela ficou ocultada pelo objeto. Uma forma de fazer isto é, alguns minutos antes da ocultação ocorrer, ajustar um cronômetro com o horário fornecido pelo Observatório Nacional (ON). Este possui uma rede telefônica (21 2580-6037) que fornece a hora de forma falada a cada 10 segundos, com um intervalo de bips entre os avisos para maior precisão, existe também a rádio do ON que fornece sinais com o horário atual, além de *softwares* de computador que fazem esta função. Portanto, o observador deve iniciar seu cronômetro antes da ocultação com o horário preciso conhecido.

O próximo passo será o acompanhamento da estrela de possível ocultação pelo observador. Uma vez que seja identificada a ocultação o observador deverá acionar a função *split* de seu cronômetro imediatamente, fazendo com que este comece a marcar o tempo de ocultação. Quando o brilho da estrela reaparecer, ou seja a ocultação acabar, o observador deve acionar imediatamente novamente a função *split*. Feito isto o observador poderá então encerrar o tempo do cronômetro, obtendo 4 marcações de tempo: a de início, cuja o horário é conhecido pois foi sincronizado com o horário do ON, a ativação da função *split* (imersão da ocultação), o fim da função *split* (emersão da ocultação) e o fim do tempo total marcado pelo cronômetro.

Como forma de exemplificar podemos imaginar um observador que tenha dado início ao seu cronômetro às 20:23:38,00, sincronizado com o ON, neste é mostrado que a função *split* foi acionada em 00:01:03,23, ou seja somando este tempo ao tempo de início da ocultação teremos que o horário da imersão foi às 20:24:41,23. Pelo cronômetro é possível ver que a função *split* foi acionada novamente às 00:01:07,11, portanto se subtrairmos este tempo pelo tempo do primeiro acionamento da função *split* veremos que o intervalo de tempo que a função *split* ficou acionada foi de 00:00:03,88 (duração da ocultação), portanto somando este tempo ao horário de imersão teremos o horário de emersão, sendo este 20:24:45,11. Desta forma concluímos que a ocultação teve início às 20:24:41,23 tendo duração de 3,88 segundos, finalizando às 20:24:45,11.

Devemos levar em conta que para este método o momento de início e fim da ocultação não são 100% precisos, visto que o observador possui um tempo de reação ao ver a ocultação e acionar o cronômetro. Uma forma de obtermos noção desse tempo de reação do observador é fazendo alguns testes via *websites*, onde estes medem quanto tempo o observador demora para reagir (clicar) quando um determinado parâmetro muda em sua tela. Este tempo de reação do observador deve ser adicionado às medidas, tornando-se uma incerteza na medida do tempo que este objeto ficou ocultado.

4.2 MÉTODOS NÃO VISUAIS

No caso dos métodos não visuais, o observador utiliza o auxílio de uma câmera de vídeo acoplada ao telescópio para captar a variação do fluxo luminoso da estrela. As câmeras mais utilizadas são as do tipo *charge-coupled device* (CCDs), principalmente por estas serem capazes de obter várias imagens em um curto período de tempo, fazendo com que haja uma incerteza muito pequena com relação aos instantes que a estrela começa e deixa de ser ocultada. Alguns CCDs também possuem um sistema de posicionamento global (GPS) acoplado, fazendo com que estes consigam sincronizar o tempo de forma precisa e dispor este na própria imagem da câmera, conforme ilustra a figura 4.1.



Figura 4.1 – Imagem obtida pela câmera do observador Michel Boutet, onde F8 indica que existem 8 satélites conectados ao sistema GPS e a direita temos as informações do horário, variando de imagem em imagem.

Caso o observador não possua uma câmera CCD ou o sistema GPS integrado a esta, ainda é possível obter as imagens e o horário de uma ocultação utilizando *webcams* adaptadas ao telescópio ou outros tipos de câmera. Para estes casos também teremos que obter o horário de forma precisa, portanto assim como nos métodos visuais, podemos utilizar o contato do ON para obter o horário, ou neste caso pode-se utilizar o aplicativo de celular *Astro Flash Timer* ou *Occult Flash Tag*⁶, que gera um *flash* de luz com o horário preciso aparecendo no visor do celular. O *flash* gerado pelo celular deve ser apontado na direção do telescópio, com o objetivo de aparecer nas imagens da câmera, desta forma quando o observador analisar as imagens obtidas, ele verá a imagem em que o *flash* aparece, sabendo de forma precisa

⁶ ANDERSON, B. **International Occultation Timing Association**. Disponível em: <<https://occultations.org/observing/software/>>. Acesso em: 19 Ago. 2022.

o horário que esta imagem foi retirada por conta do aplicativo. Vale a pena ressaltar que a gravação e a obtenção do tempo sempre devem ser feitas alguns minutos antes do horário previsto para o evento, e o desligamento deve ser realizado alguns minutos após o previsto.

Tendo então o horário preciso do início do vídeo, podemos obter o horário de início e término da ocultação, observando apenas em qual instante do vídeo isto ocorre e somando este tempo ao horário de início da gravação. O mesmo serve para obter o horário preciso do término do vídeo, basta somar o tempo total de vídeo ao horário de início deste.

Como este método irá gerar imagens relacionadas ao evento, teremos um erro muito menor na hora de obter o tamanho do objeto, principalmente por não dependermos do tempo de reação do observador para obter os momentos de início e fim da ocultação, além deste método possibilitar também uma análise fotométrica da curva de luz advinda da estrela.

5 ANÁLISE DE OCULTAÇÕES

Como descrito no capítulo anterior, a forma mais comum e precisa de obter os dados de uma ocultação estelar é através de imagens de vídeo do evento. Estas contêm informações sobre a variação do fluxo luminoso das estrelas com o tempo. No caso da estrela alvo, o que se espera é que seu brilho apresente uma queda devido a passagem do objeto ocultador, portanto como forma de quantificar esta queda podemos realizar uma fotometria diferencial do fluxo luminoso estrela. Esta fotometria deve levar em conta não somente o brilho da estrela ocultada, mas também as condições do céu naquele instante. Como exemplo podemos imaginar um evento em que durante a fotometria haja a passagem de algumas nuvens no céu, estas indicariam uma queda no fluxo da estrela que não tem relação com o evento, fazendo com que os dados fiquem confusos. Uma forma de contornar este fator seria escolher uma estrela de referência próxima a estrela alvo, onde caso houvesse a passagem de uma nuvem, ambos os fluxos diminuiriam, fazendo com que possamos distinguir as quedas que estão relacionadas às condições do céu com aquela relacionada ao evento. Outro fator importante de se analisar é a luminosidade do céu para aquele dado observador, em locais urbanos temos um fundo de céu com luminosidade mais alta, fazendo com que após a fotometria o fluxo da estrela alvo não vá a zero, pois o fundo de céu estará contribuindo para captação de brilho.

Portanto o primeiro passo para realização da fotometria é a escolha das estrelas alvo, de referência e o fundo de céu, conforme ilustra a figura 5.1. Neste caso a fotometria foi realizada utilizando o *software PyMovie*⁷, que facilmente poderia ser utilizado por professores e alunos, principalmente por apresentar grande facilidade de uso.

O produto da fotometria é apresentado no gráfico da figura 5.2, onde podemos visualizar o fluxo luminoso captado pelo programa para cada um dos alvos designados anteriormente. Podemos notar através deste gráfico uma pequena variação com relação ao fluxo das estrelas e do fundo de céu, devido a atmosfera e ruídos na câmera, porém neste caso fica claro o momento da ocultação da estrela alvo, tendo em vista que o brilho da estrela de referência se mantém praticamente constante durante toda a gravação e o fluxo da estrela alvo diminui ao mesmo valor do fundo de céu.

Como forma de melhorar os dados obtidos, podemos realizar a razão do fluxo da estrela de referência pela estrela alvo, eliminando qualquer tipo de variação no fluxo que não esteja relacionado com o evento. Deve-se também realizar a normalização desta curva, gerando uma melhor visualização do momento de ocultação, conforme

⁷ ANDERSON, B. **International Occultation Timing Association, PyMovie Resources**. Disponível em: <<https://occultations.org/observing/software/pymovie/>>. Acesso em: 08 Jun. 2022.

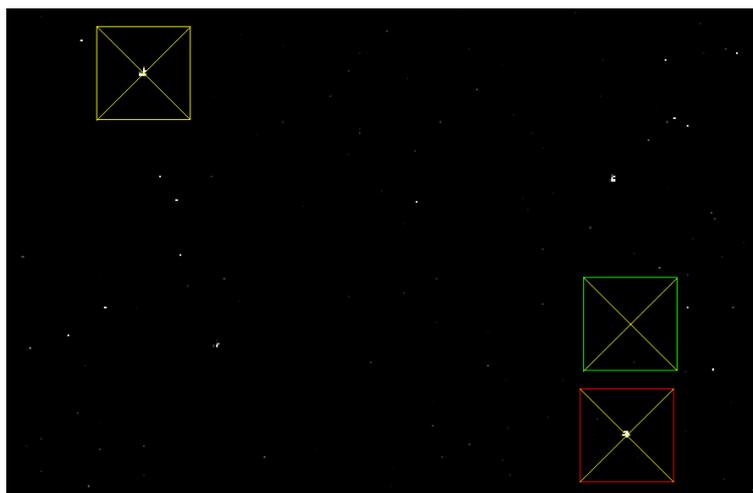


Figura 5.1 – No canto inferior direito temos a marcação da estrela alvo, acima desta está selecionada uma região escolhida para o fundo de céu, tendo em vista que não existem estrelas visíveis naquele ponto. No canto superior esquerdo temos a estrela escolhida como referência. Este procedimento refere-se ao evento ocorrido em abril de 2022 para o objeto (420) Bertholda, onde a fotometria foi realizada pelo autor deste trabalho e a obtenção dos dados pelo astrônomo Felipe Braga Ribas.

apresenta a figura 5.3. Este procedimento pode ser realizado através do *software* SORA, que foi utilizado anteriormente para realização dos mapas de predição do evento.

Através de curvas de luz similares a figura 5.3 podemos obter diversas informações sobre o corpo, como por exemplo, neste caso observamos uma queda única, indicando um só objeto, porém poderíamos obter curvas com duas quedas, indicando dois corpos, ou até mesmo a representação de anéis próximos a objetos. A figura 5.4 representa a ocultação de uma estrela por um planeta que possui atmosfera e anéis, em sua curva de luz podemos notar uma queda antes e após o evento referente a ocultação dos anéis e durante a ocultação do corpo principal podemos identificar um pico central devido sua atmosfera, que realiza um efeito similar ao de uma lente convergente.

Questões relacionadas à curvas de luz de ocultações podem ser facilmente trabalhadas com alunos de ensino fundamental e médio, principalmente por estas possuírem uma interpretação relativamente simples e apresentarem características importantes sobre a forma dos corpos de nosso Sistema Solar. Um exemplo pode ser tomado através da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica ⁸ (OBA) aplicada em 2015, onde esta apresentou uma questão referente a curva de luz do objeto Chariklo, conforme indica a figura 5.5.

O próximo passo após a fotometria será a obtenção das cordas de ocultação.

⁸ **Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica**. Disponível em: <<http://www.oba.org.br/site/>>. Acesso em: 08 Jun. 2022.

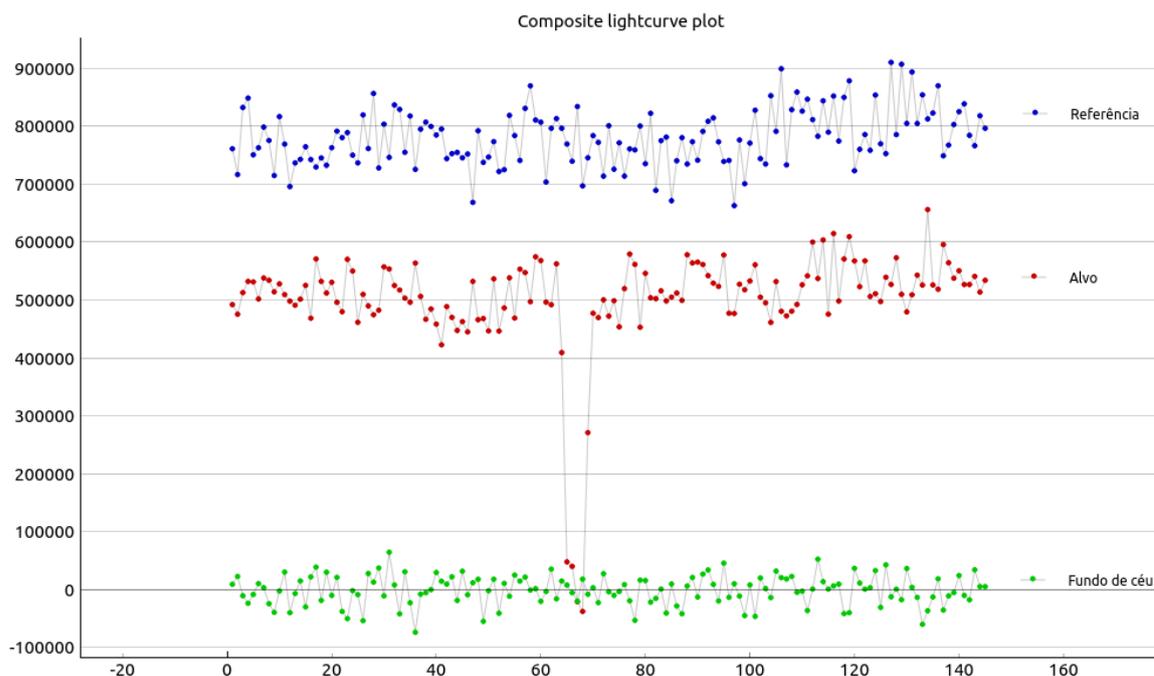


Figura 5.2 – Neste gráfico podemos ver a fotometria realizada para o objeto (420) Bertholda, onde no eixo vertical temos as medidas de fluxo e no eixo horizontal o número de frames. Neste caso, durante a fotometria já é possível identificar a queda no fluxo referente ao evento.

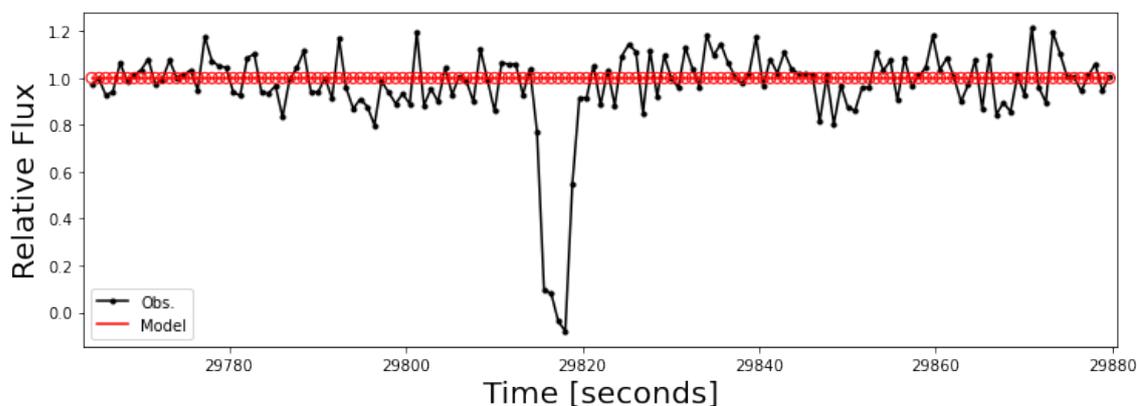


Figura 5.3 – Curva de luz após a realização da razão entre o fluxo da estrela alvo e de referência, onde o eixo vertical representa o fluxo normalizado e o eixo horizontal apresenta o tempo em segundos a partir da meia noite da data do evento (24/04/2022).

No caso de professores que tenham utilizado métodos visuais para sua observação, estes já possuem o tempo de imersão e emersão do objeto, além do erro atrelado a estes devido a seu tempo de reação. Já no caso daqueles que possuem a curva de luz é possível fazer um ajuste utilizando o SORA para obtenção destes instantes, onde neste caso o erro será muito menor, pois este estará relacionado com o tempo morto da câmera. A figura 5.6 mostra o ajuste feito ao objeto (420) Bertholda.

Tendo os tempos de imersão, emersão e o erro atrelados a estes, tanto para

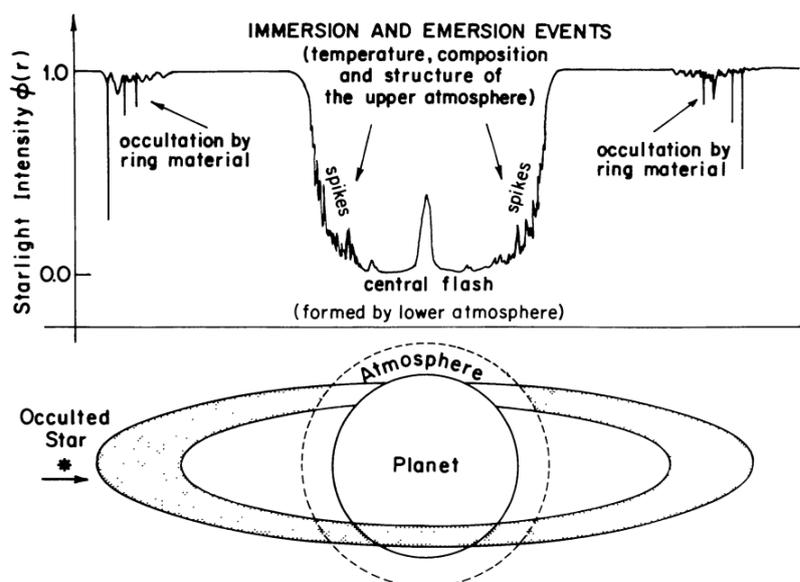


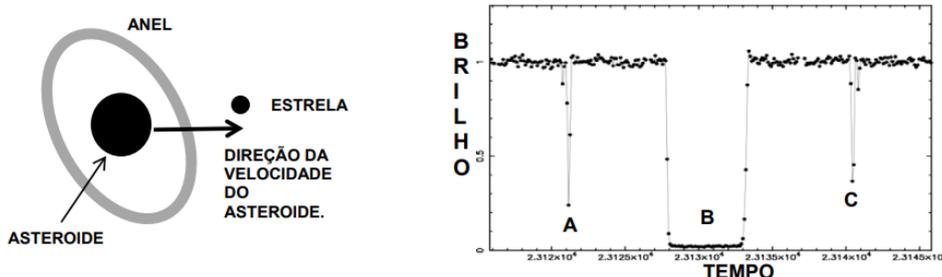
Figura 5.4 – Figura esquemática da ocultação de uma planeta similar a Saturno, onde sua curva de luz mostra assinaturas referentes a atmosfera e o sistema de anéis deste corpo. Fonte: ELLIOT (1979).

os métodos visuais, quanto para os métodos não visuais, o tamanho da corda pode ser facilmente calculada, visto que, a velocidade destes objetos são conhecidas. Desta forma o cálculo realizado será bem simples, estando de acordo com os conteúdos que os alunos estudam na educação básica, sendo apenas a velocidade do objeto vezes o tempo de ocultação, obtendo então o tamanho da corda visualizada por aquele observador. Tendo a corda de ocultação é possível realizar um ajuste para forma do objeto, onde caso tenhamos apenas uma única corda positiva, esta indicará duas possíveis soluções, conforme ilustra a figura 5.7, com duas cordas podemos determinar a direção do centro do corpo, e obtendo mais cordas é possível determinar mais precisamente seu formato.

Como mencionado anteriormente, uma curva de luz pode apresentar não somente uma corda única, mas também cordas duplas, ou até mesmo a junção dessas duas situações em um mesmo evento. A figura 5.8 representa a ocultação pelo objeto (486958) Arrokoth em quatro datas diferentes, onde algumas das cordas sugerem a existência de um corpo duplo de contato (BUIE, 2020).

Aqui vale a pena ressaltar que mesmo observações totalmente negativas como ocorre no evento de Junho de 2017 para o objeto (486958) Arrokoth, servem para obtermos uma maior precisão em sua posição astrométrica, fazendo com que possamos eliminar soluções orbitais que passariam por aquela determinada região. Desta forma, os mapas de predição dos anos subsequentes tiveram uma incerteza menor, rendendo cordas positivas que consequentemente melhoraram ainda mais nosso conhecimento com relação a órbita e forma deste objeto.

Questão 7) (1 ponto) Em 2014, Felipe Braga Ribas, jovem astrônomo do Observatório Nacional, descobriu, com a colaboração de outros astrônomos, o primeiro asteroide com anéis, Chariklo. O Chariklo move-se a 20 km/h e está entre as órbitas de Saturno e Urano. Chariklo passou na frente de uma estrela, conforme ilustra, esquematicamente, a figura abaixo à esquerda, e isso permitiu descobrir que ele tem anel, qual o tamanho e o raio do anel, bem com o tamanho do asteroide etc.



A figura acima à direita mostra o brilho da estrela ocultada pelo Chariklo. Note que ela tinha um brilho constante, mas no instante **A** seu brilho caiu para quase zero, no instante **B** seu brilho foi para zero e no instante **C** seu brilho caiu pela metade, depois ficou constante novamente.

Pergunta 7a) (0,5 ponto) Escreva a letra **A** onde estava, aproximadamente, a estrela sobre o anel (ou sobre o asteroide) da figura da esquerda quando ela foi ocultada no instante **A**.

7a) - Nota obtida: _____

Pergunta 7b) (0,25 cada acerto) Escreva as letras **B e C** onde estava, aproximadamente, a estrela sobre o anel (ou sobre o asteroide) da figura da esquerda quando ela foi ocultada nos instantes **B e C**.

7b) - Nota obtida: _____

Figura 5.5 – Questão apresentada na Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica envolvendo a interpretação da curva de luz do primeiro sistema de anéis descoberto ao redor de um asteroide. Fonte: Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (2015).

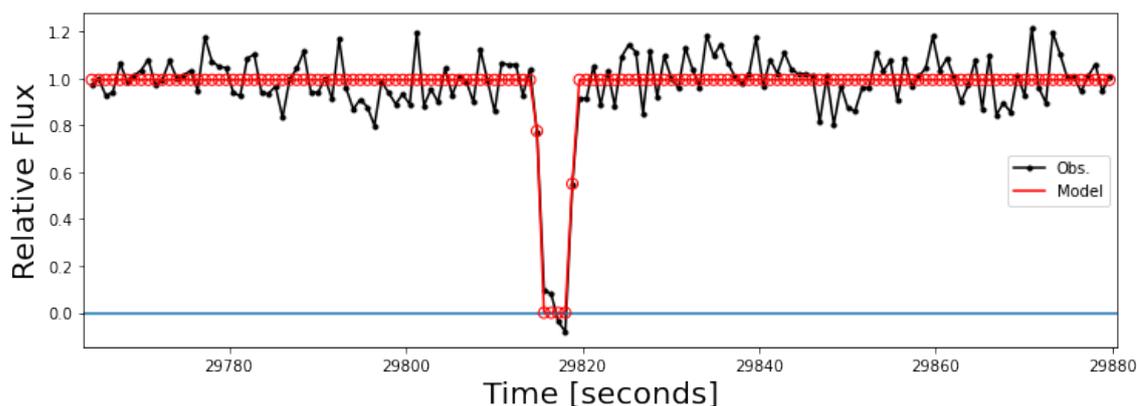


Figura 5.6 – A linha vermelha do gráfico representa o ajuste realizado a curva de luz, onde através deste são obtidos os tempos de imersão e emersão do evento. O erro atrelado a estes está relacionado com o distanciamento temporal entre uma medida e outra, no caso de medidas mais espaçadas teremos uma queda gradual no ajuste, apresentando uma incerteza maior com relação ao momento de início ou fim da ocultação. Neste caso o erro é pequeno, estando na ordem de 200 milissegundos para imersão e emersão.

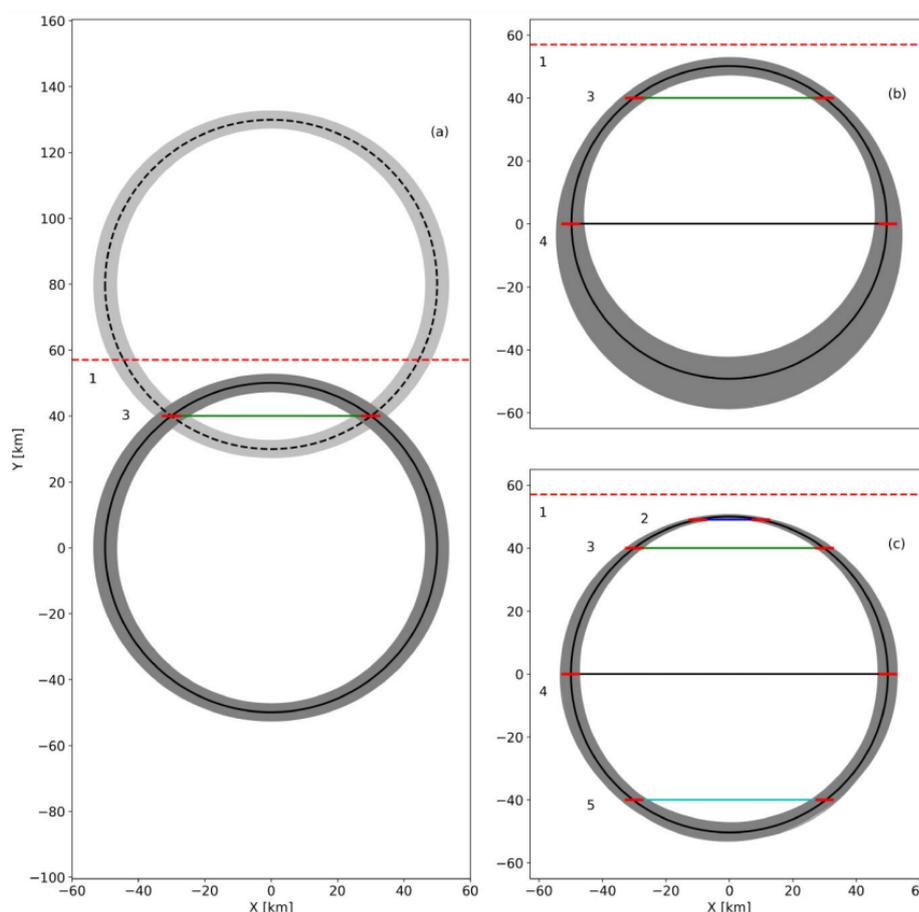


Figura 5.7 – Projeção das cordas de ocultação no plano do céu: O gráfico à esquerda apresenta a visualização de dois observadores, onde um deles reporta uma corda positiva e o outro negativa. Neste caso a corda negativa serve para indicar a real direção do corpo, tendo em vista que apenas uma corda positiva possui duas soluções. Nos gráficos à direita podemos visualizar a mesma ocultação, porém agora com um número maior de cordas positivas, o que nos fornece maior precisão no ajuste da forma do objeto, tendo em vista que a zona acinzentada indica as possíveis soluções para forma dentro da incerteza das cordas, e o ajuste em preto representa a melhor forma encontrada. Fonte: GOMES-JÚNIOR (2022).

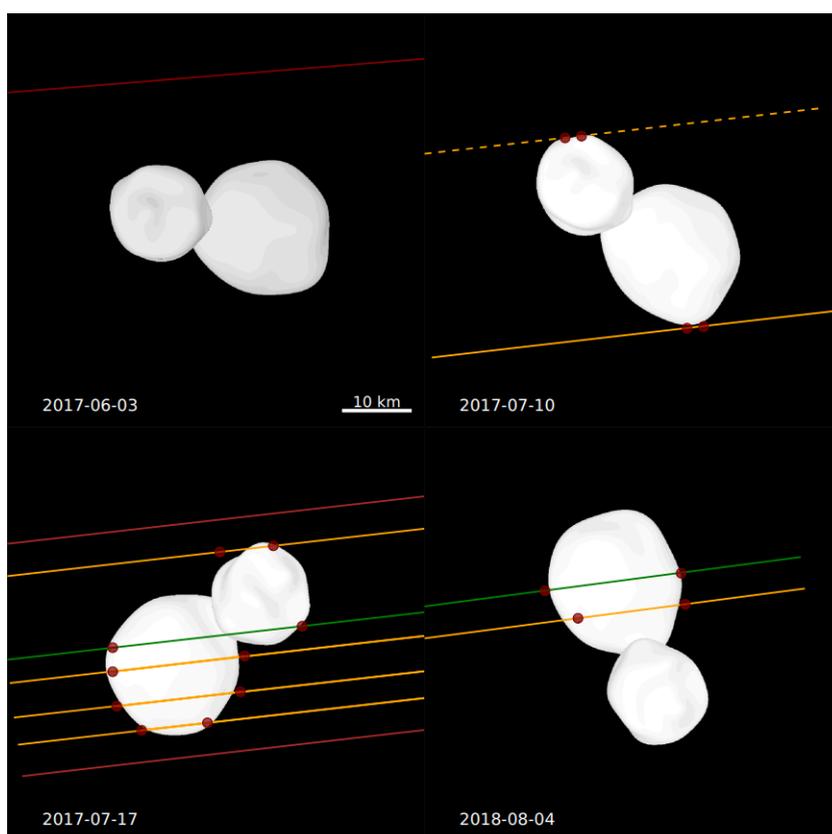


Figura 5.8 – Cordas de ocultação para o objeto (486958) Arrokoth, totalizando quatro eventos cuja as datas encontram-se no canto inferior esquerdo de cada um destes. Neste caso é possível observar que o ajuste de um objeto duplo de contato é compatível com o que foi apresentado pelas diferentes cordas de ocultação. Fonte: BUIE (2020).

6 ANÁLISE DE OCULTAÇÕES ESTELARES POR (3451) MENTOR

Para nos aprofundarmos ainda mais sobre a técnica de ocultações estelares e sua aplicação na educação básica, podemos tomar como exemplo a análise de um objeto do Sistema Solar que até então não conhecemos a forma. Neste caso iremos utilizar o objeto (3451) Mentor, descoberto em 1984 no observatório Klet' por Antonín Mrkos (KLET' OBSERVATORY, 2022).

Mentor possui uma órbita similar a do planeta Júpiter, sendo denominado um Troiano do planeta. São chamados de objetos troianos aqueles que se encontram nos pontos de equilíbrio de Lagrange da órbita de um determinado planeta (SPINA, 2021). A figura 6.1 ilustra os pontos estáveis L4 e L5 do planeta Júpiter, onde ocorre o acúmulo de asteroides, dentre estes, Mentor.

Antes de partirmos para a análise deste objeto, vale a pena ressaltar que este possui um raio equatorial estimado de 63 km (GRAV, 2012). Este raio é uma medida realizada através de telescópios/satélites que captam fluxos no espectro térmico. Desta forma, o que estes nos indicam é que devido a quantidade de fluxo que Mentor emite, este deve ser no mínimo um objeto circular com diâmetro equatorial de 126 km. É muito comum estes objetos não possuírem uma forma circular, portanto esta aproximação nos ajuda a delimitar apenas parte do corpo. Se imaginarmos um objeto com o formato de um elipsóide, este poderia emanar o mesmo fluxo que um objeto esférico, visto que, se variássemos o tamanho de ambos, em algum momento estes teriam a mesma

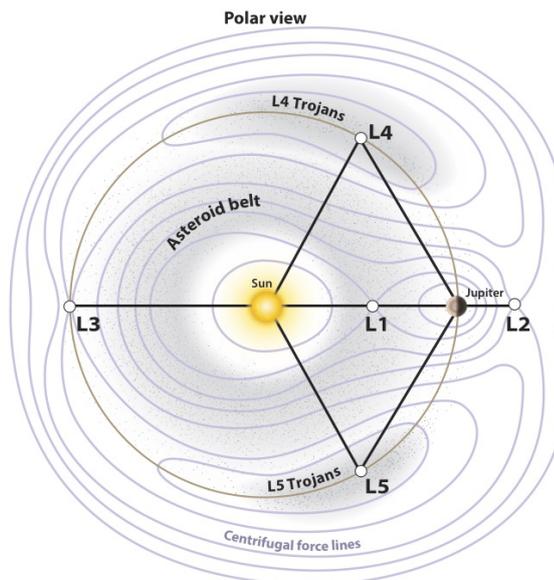


Figura 6.1 – Representação dos pontos de Lagrange para órbita do planeta Júpiter, onde L1, L2 e L3 são conhecidos como pontos de equilíbrio instável e L4 e L5 são denominados pontos de equilíbrio estável. Fonte: DAVIS (2018).

quantidade de fluxo emanado, porém formas distintas. Portanto a informação do raio equatorial do objeto é extremamente importante, pois uma vez que tenhamos as cordas de ocultação, o raio equatorial nos ajudará a delimitar o tamanho do corpo, fazendo com em alguns casos, este tenha de ser ajustado a um objeto mais achatado para manter mesmo fluxo emanado.

Iremos tratar então de três ocultações pelo objeto (3451) Mentor, sendo uma em 2019, uma em 2020 e uma em 2021. Uma alternativa para se trabalhar com a técnica de ocultações estelares caso o professor não tenha a possibilidade de obter os dados devido a falta de um instrumento óptico, seria de forma similar ao que veremos nos eventos a seguir, onde é apresentada a parte de redução dos eventos, tendo como objetivo mostrar apenas o funcionamento da técnica e os resultados que são possíveis de se obter através desta.

6.1 OCULTAÇÃO DE 22/07/2019

Para o primeiro evento a ser analisado tivemos três observadores, onde o mapa de predição desta ocultação encontra-se na figura 6.2. Neste exemplo a sombra da ocultação passou majoritariamente pela Europa, portanto todos os observadores são desta região. Como citado na parte de observação, é importante que aqueles que visualizaram a ocultação anotem os dados referentes a sua posição no momento do evento, desta forma, quando formos plotar as cordas de ocultação no plano do céu podemos deslocá-las a fim de obter a forma do corpo, mesmo que os observadores estivessem em locais distintos. A tabela 6.1 apresenta os dados referentes à posição de cada observador e o tempo de exposição utilizado em suas câmeras.

Para analisar os dados dos observadores iremos realizar a fotometria das curvas de luz enviadas. Estas podem ser visualizadas nas figuras 6.3, 6.4 e 6.5. Diferentemente do que foi apresentado anteriormente, nestes casos não fica totalmente evidente a queda referente ao evento de ocultação diretamente na fotometria, por este motivo devemos realizar a razão do fluxo da estrela alvo por uma estrela de referência e a normalização da curva resultante. Neste caso iremos aproveitar para realizar também o ajuste à queda apresentada, evidenciando a queda referente a ocultação e obtendo os tempos de imersão e emersão para esta. O gráfico dos ajustes se encontram na figura 6.6 e os dados referente aos tempos de imersão e emersão obtidos estão dispostos na tabela 6.2.

Tabela 6.1 – Dados de cada observador para o evento de Julho de 2019.

Nome	Local	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Tempo de Exposição (s)
Michel Boutet	Toulouse, França	43,5018056	1,2889445	178	1,28
Joan Rovira Picañol	Moia, Espanha	41,8181667	2,0958611	827	0,40
Carles Schnabel	Sant Esteve Sesrovires, Espanha	41,49375	1,8725278	180	0,40

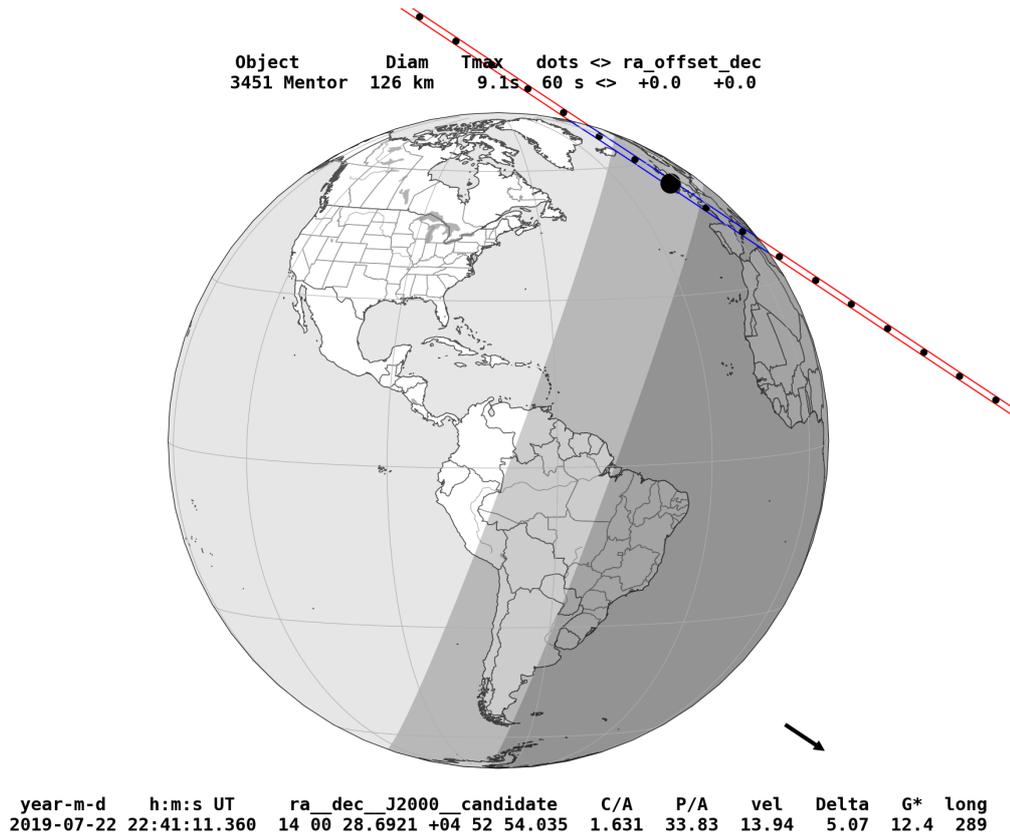


Figura 6.2 – Mapa de predição para o evento de 22/07/2019, onde através deste é possível visualizar que o diâmetro equivalente estimado para Mentor é de 126 km, conforme descrito na parte superior da figura.

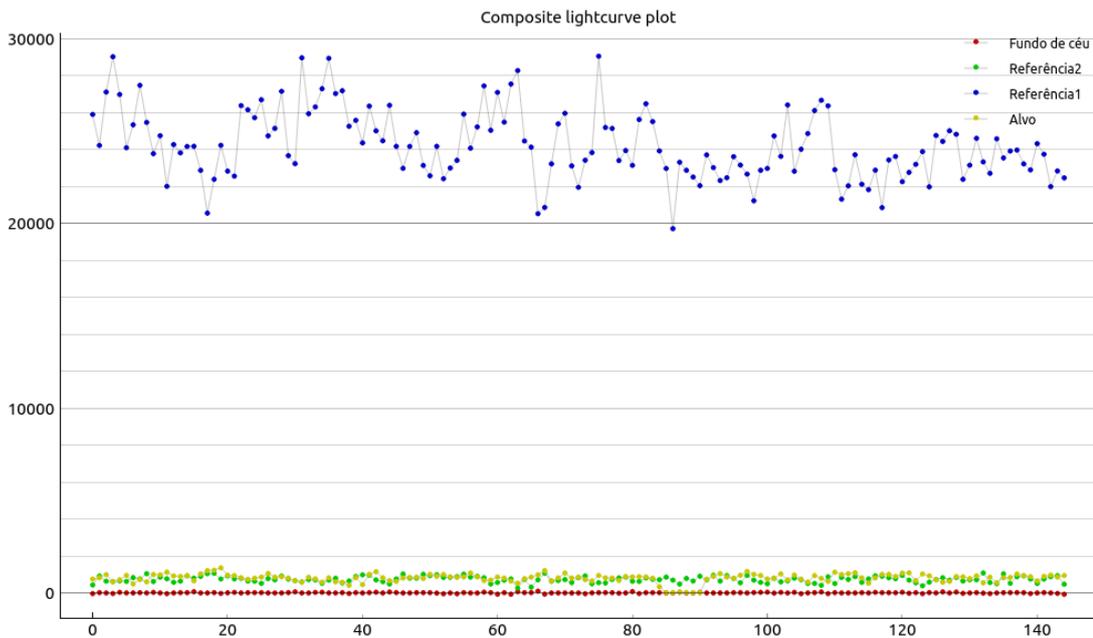


Figura 6.3 – Dados da fotometria para as imagens de Michel Boutet, onde a queda no fluxo da estrela alvo ocorre próximo ao frame 85.

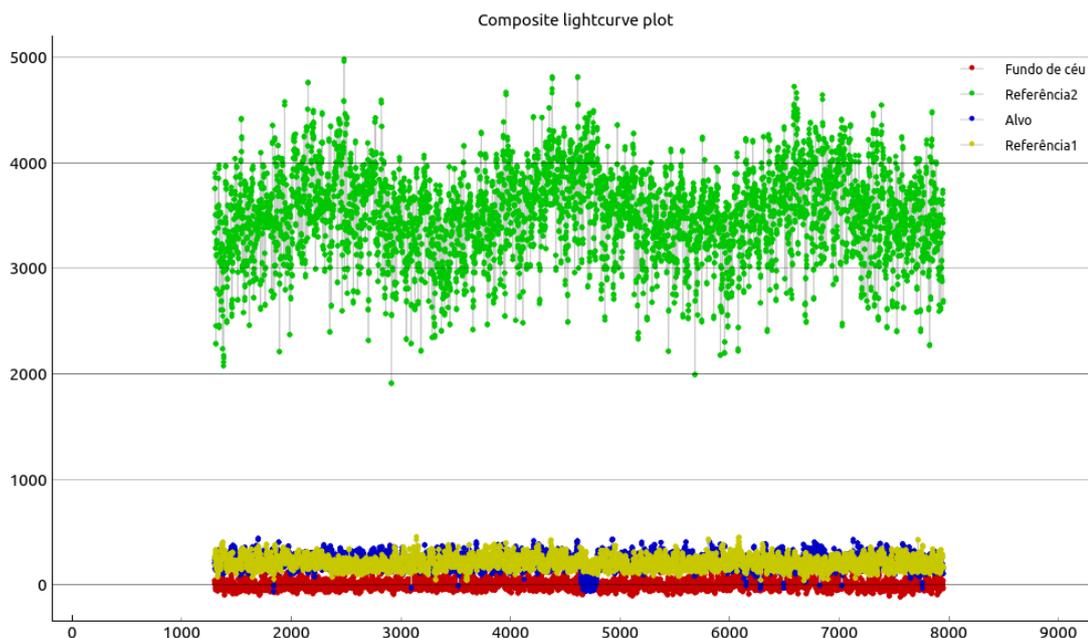


Figura 6.4 – Dados da fotometria para as imagens de Joan Rovira Picañol, onde a queda no fluxo da estrela alvo ocorre próximo ao frame 4800.

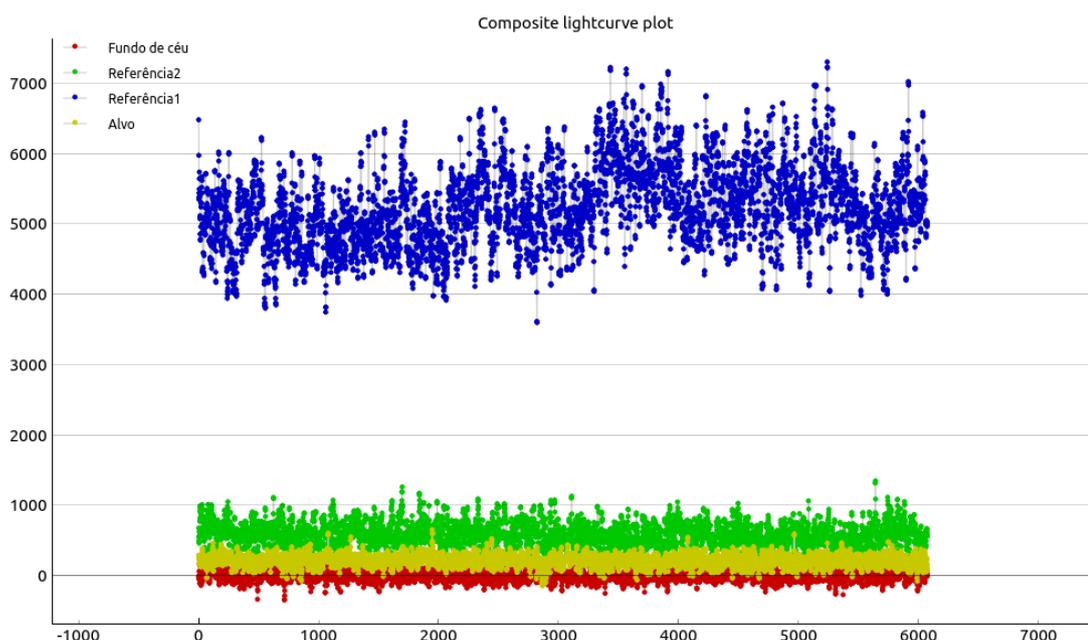


Figura 6.5 – Dados da fotometria para as imagens de Carles Schnnebel, onde a queda no fluxo da estrela alvo ocorre próximo ao frame 2900.

É possível notar através dos ajustes que alguns observadores conseguem medir um número maior de fluxos em um determinado período de tempo do que outros. Isto ocorre devido a quantidade de imagens que a câmera consegue captar por segundo, fazendo com que um determinado observador tenha mais amostragens que outro. Podemos ver também que as quedas não ocorrem ao mesmo tempo para todos, isto porque estes estão em locais diferentes, onde Michel Boutet que se encontrava na

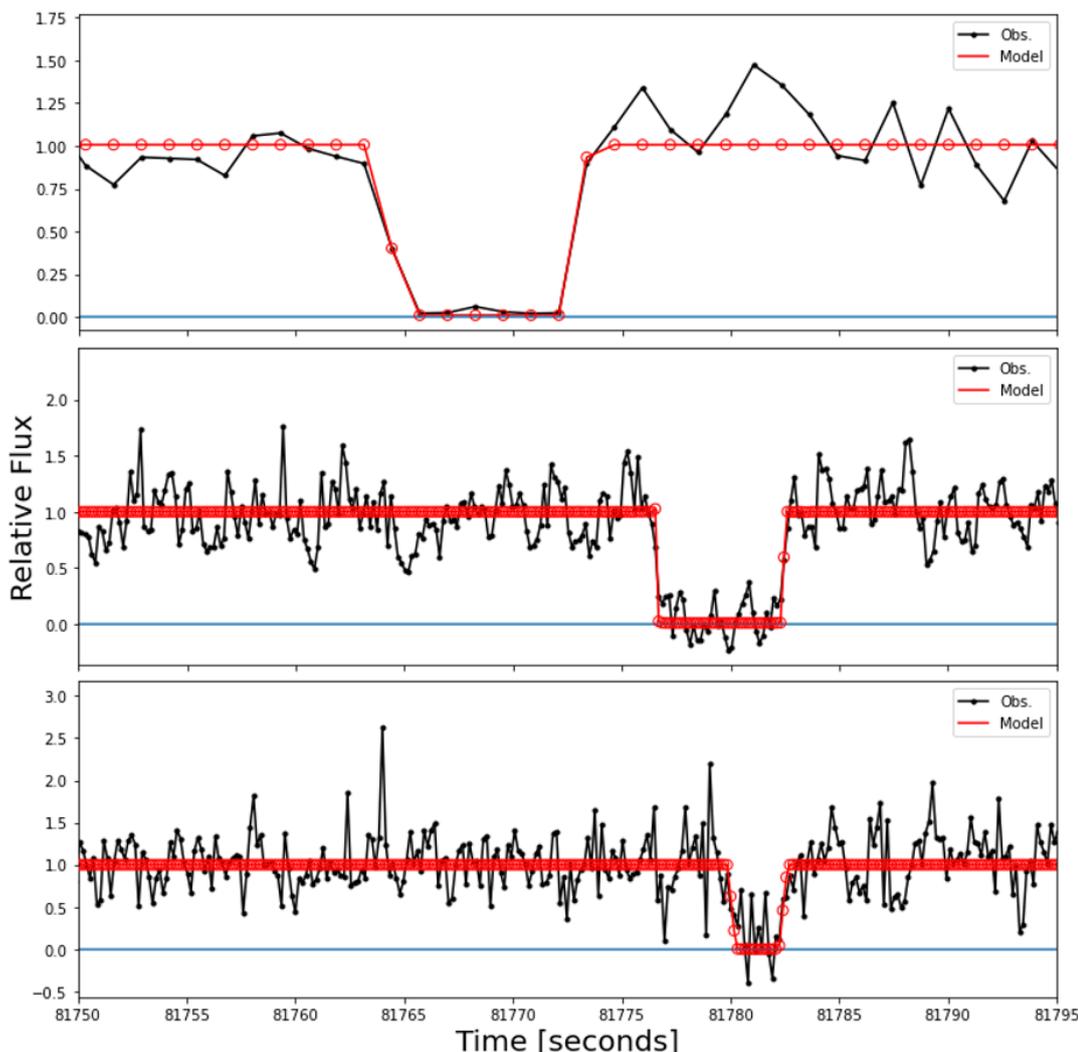


Figura 6.6 – Curvas ajustadas aos dados enviados pelos observadores, onde o primeiro gráfico refere-se a curva de Michel Boutet, o segundo à de Joan Rovira Picañol e por último Carles Schnabel. Os dados referentes ao fluxo são representados pelos pontos pretos e o ajuste é apresentado pelos pontos em vermelho, onde ficam evidentes as quedas referentes a ocultação.

França, obteve uma queda antes dos outros dois observadores que se encontravam na Espanha, por conta da sombra ter passado depois por este país.

Tendo então os tempos de imersão e emersão, podemos obter as cordas de ocultação de cada observador e o ajuste da forma do objeto. Para este ajuste será levado em consideração a extremidade de cada corda e o raio equivalente citado anteriormente. Desta forma, o que se obtém para este primeiro evento é um corpo com

Tabela 6.2 – Tempos de imersão e emersão para cada observador.

Observador	Tempo de Imersão (UTC) (s)	Tempo de Emersão (UTC) (s)
Michel Boutet	2019-07-22 22:42:42,997 ± 0,215	2019-07-22 22:42:51,527 ± 0,274
Joan Rovira Picañol	2019-07-22 22:42:56,598 ± 0,072	2019-07-22 22:43:02,419 ± 0,014
Carles Schnabel	2019-07-22 22:42:59,839 ± 0,109	2019-07-22 22:43:02,210 ± 0,105

formato de elipse, conforme mostra a figura 6.7. Os dados referentes a forma ajustada encontram-se na tabela 6.3, onde obtemos as dimensões com relação ao ajuste.

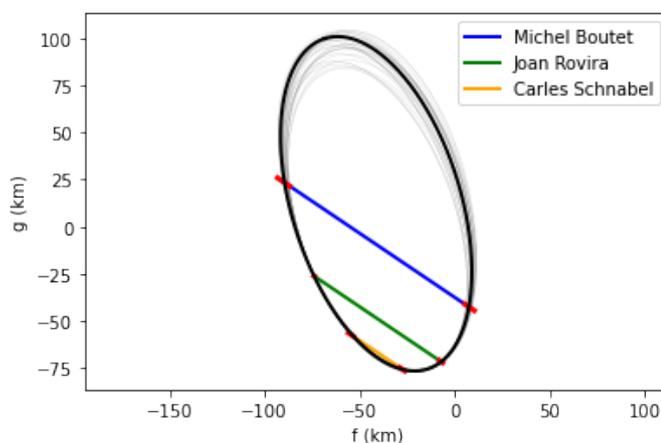


Figura 6.7 – Ajuste da forma do corpo, onde os pontos (0,0) do gráfico representam a posição esperada para o centro do objeto baseando-se na predição, ou seja, este está um pouco deslocado com relação ao que se esperava.

Tabela 6.3 – Dados da elipse ajustada para o evento de Julho de 2019.

Centro em f	-41 ± 2 km
Centro em g	9 ± 5 km
Raio Equatorial	88 ± 5 km
Raio polar	44 km
Raio equivalente	62 km
Achatamento	$0,50 \pm 0,03$
Ângulo de posição	73 ± 3

O achatamento (ϵ) do objeto pode ser calculado através da equação 6.1 (ROMMEL, 2020), onde isolando o raio polar (R_{pol}) nesta equação e substituindo o resultado na equação 6.2, obtemos uma relação direta entre o raio equivalente (R_{equiv}), o raio equatorial (R_{equat}) e o achatamento do corpo.

$$\epsilon = \frac{R_{equat} - R_{pol}}{R_{equat}} \quad (6.1)$$

$$R_{equiv} = \sqrt{R_{equat} R_{pol}} = R_{equat} \sqrt{1 - \epsilon} \quad (6.2)$$

Para finalizar este evento podemos plotar um mapa da posição dos observadores desta ocultação, onde neste é mostrado o *offset* relacionado a posição esperada do objeto. A figura 6.8 apresenta estes dados, sendo possível notar a direção e sentido da sombra que justifica a diferença de tempo entre a visualização dos observadores, sendo posteriormente corrigida através da localização fornecida por estes para o ajuste da forma.

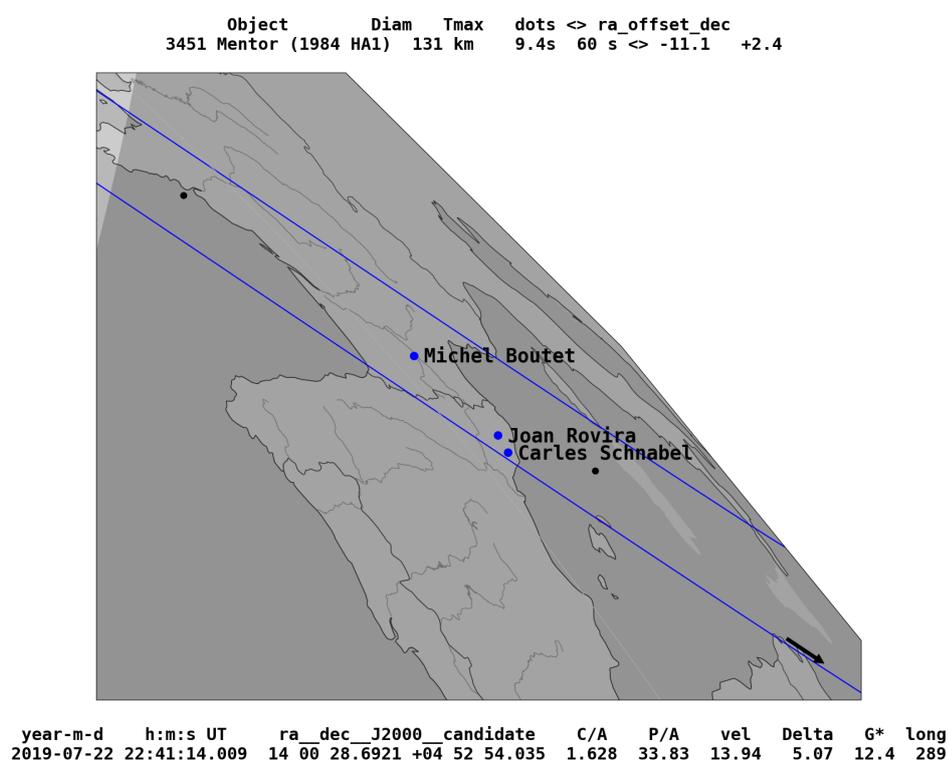


Figura 6.8 – Projeção da trajetória da sombra do evento confirmada pelos observadores.

6.2 OCULTAÇÃO DE 20/03/2020

O mapa de predição referente ao segundo evento que iremos analisar para o objeto (3451) Mentor se encontra na figura 6.9. Neste caso obtivemos apenas um observador, sendo similar ao que um professor irá se deparar caso este resolva observar um objeto sozinho. Os dados referentes a este observador se encontram na tabela 6.4 e assim como nos casos anteriores, foi realizada a fotometria referente aos dados enviados pelo observador.

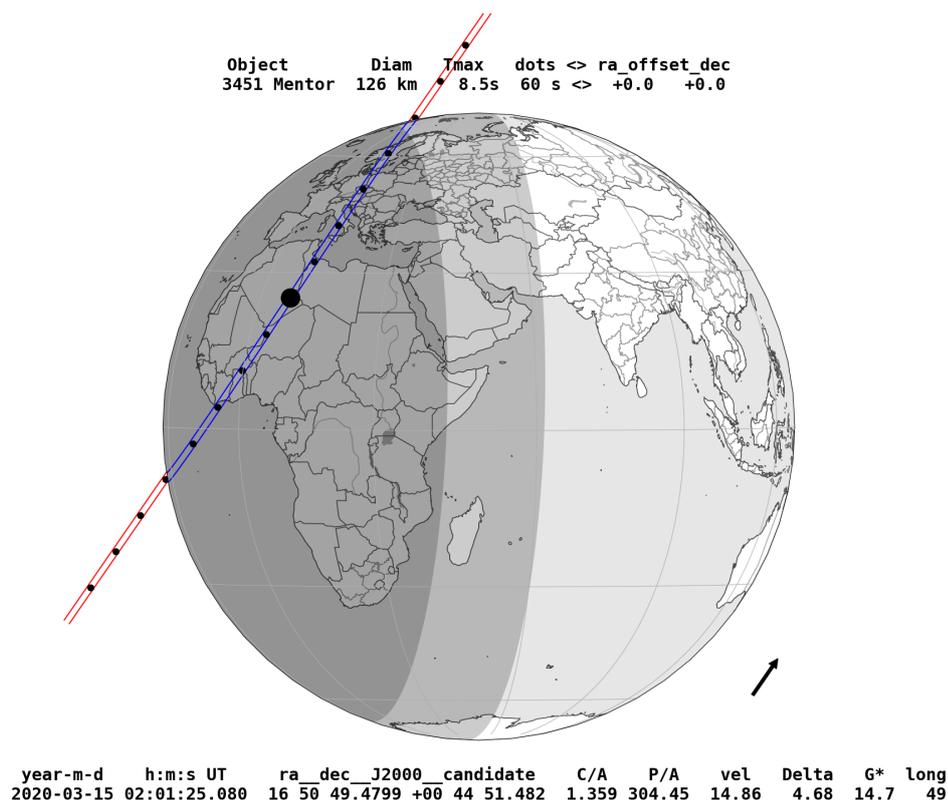


Figura 6.9 – Mapa de predição para o evento de 20/03/2020.

Tabela 6.4 – Dados do observador para o evento de Março de 2020.

Nome	Local	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Tempo de Exposição (s)
Michal Rottenborn	Pilsen, República Checa	13,331912716814	49,70783066833	326	0,4

Como é difícil identificarmos o evento diretamente da fotometria, iremos partir direto para os dados obtidos após a razão dos fluxos das estrelas e o ajuste, resultado no gráfico da figura 6.10. Este apresenta uma característica interessante, pois o brilho da estrela alvo não vai a zero durante a ocultação, porém há uma queda considerável no fluxo. Este tipo de dado pode aparecer quando o observador acaba captando uma corda rasante do objeto, fazendo com que parte do fluxo da estrela ainda seja visível no céu. Uma forma de certificarmos se este realmente é o caso, seria visualizar as imagens referentes ao momento da ocultação, tendo certeza que a estrela ainda é

visível durante a queda do fluxo. Caso a estrela desapareça completamente, saberemos que a contribuição é apenas devido ao fundo de céu, ou seja, à poluição luminosa que estava ao redor do observador somado ao ruído da câmera. A figura 6.11 indica a posição da estrela alvo durante o evento, sendo possível identificar a ocultação.

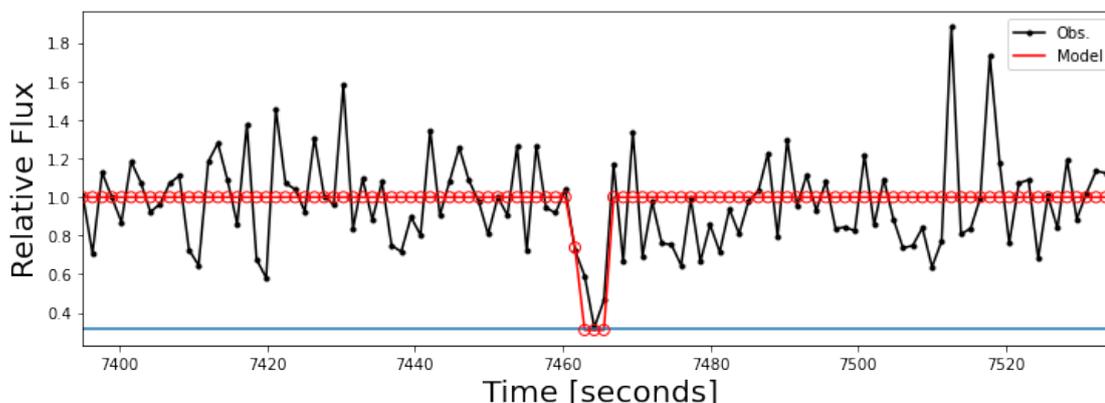


Figura 6.10 – Curva obtida através da observação de Michal Rottenborn.

Como neste caso a estrela desaparece completamente nas imagens, podemos concluir que a contribuição de fluxo ocorre apenas por conta do fundo de céu, desta forma podemos prosseguir com a obtenção dos tempos de imersão e emersão do evento, dispostos na tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Tempos de imersão e emersão para o observador Michal Rottenborn.

Observador	Tempo de Imersão (UTC) (s)	Tempo de Emersão (UTC) (s)
Michal Rottenborn	2020-03-15 02:04:21,901 ± 0,129	2020-03-15 02:04:26,339 ± 0,564

Através dos tempos obtidos podemos plotar a corda de ocultação e o ajuste do corpo. A figura 6.12 apresenta o ajuste realizado, onde obtemos dois círculos cujo raio equivalente mantêm um valor próximo a 63 km. Os dados referentes ao melhor círculo ajustado encontram-se na tabela 6.6 e uma representação da posição do observador com relação a passagem da sombra pode visualizada na figura 6.13.

Tabela 6.6 – Dados do melhor círculo ajustado para o evento de Março de 2020.

Centro em f	-83 ± 50 km
Centro em g	2 ± 37 km
Raio Equatorial	63 ± 0 km
Raio polar	63 km
Raio equivalente	63 km
Achatamento	0,0 ± 0,0
Ângulo de posição	0,0 ± 0,0

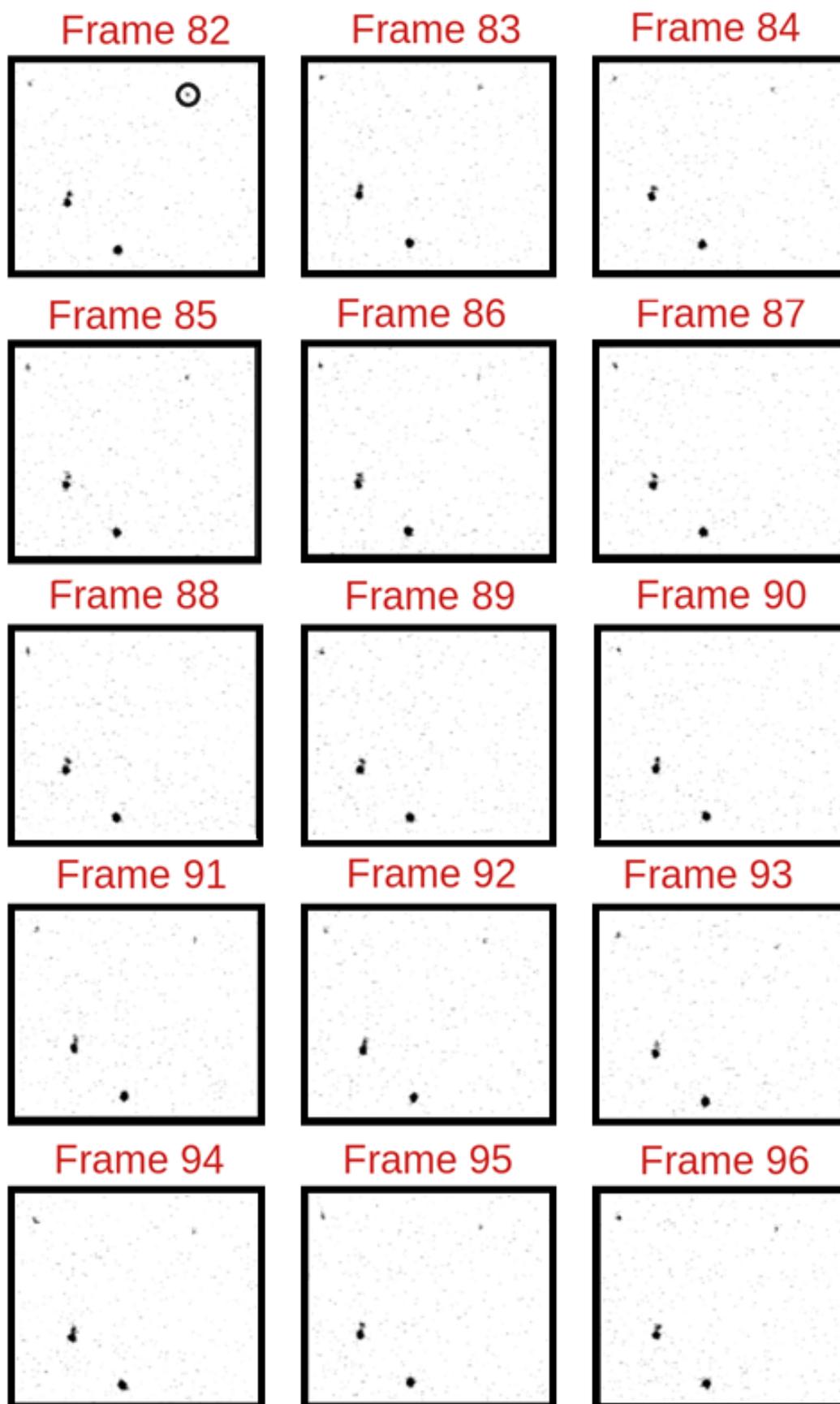


Figura 6.11 – Na primeira imagem temos a estrela alvo circulada, onde no frame 90 podemos notar que esta está totalmente oculta, reaparecendo frame 91.

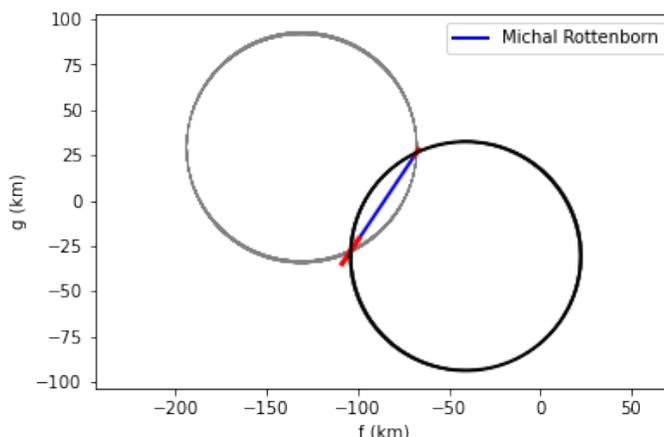
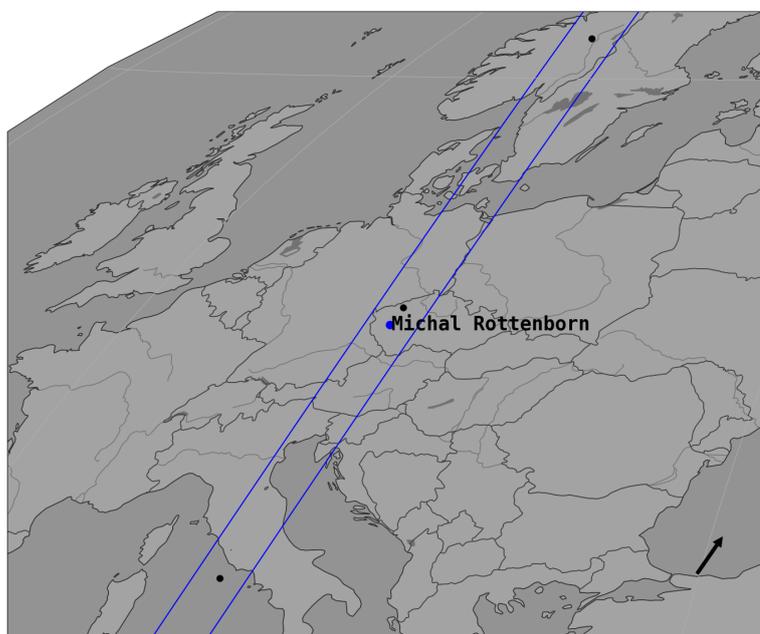


Figura 6.12 – Ajuste de dois círculos com raio equivalente próximos a 63 km. Neste caso o ajuste mais confiável em preto é escolhido pois este está mais próximo dos pontos (0,0), que representaria o centro do objeto apresentado na predição.

Object	Diam	Tmax	dots	<>	ra_offset	dec
3451 Mentor (1984 HA1)	126 km	8.5s	60 s	<>	-24.3	+0.6



year-m-d	h:m:s UT	ra_dec_J2000_candidate	C/A	P/A	vel	Delta	G*	long
2020-03-15	02:01:28.013	16 50 49.4799 +00 44 51.482	1.379	304.45	14.86	4.68	14.7	49

Figura 6.13 – Projeção da trajetória da sombra do evento confirmada pelo observador, onde à direita em cima podemos observar o *offset* referente a predição.

6.3 OCULTAÇÃO DE 15/10/2021

Para o último evento a ser analisado obtivemos três observadores, os dados referentes às suas respectivas localizações encontram-se na tabela 6.7 e o mapa de predição referente a ocultação está disposto na figura 6.14.

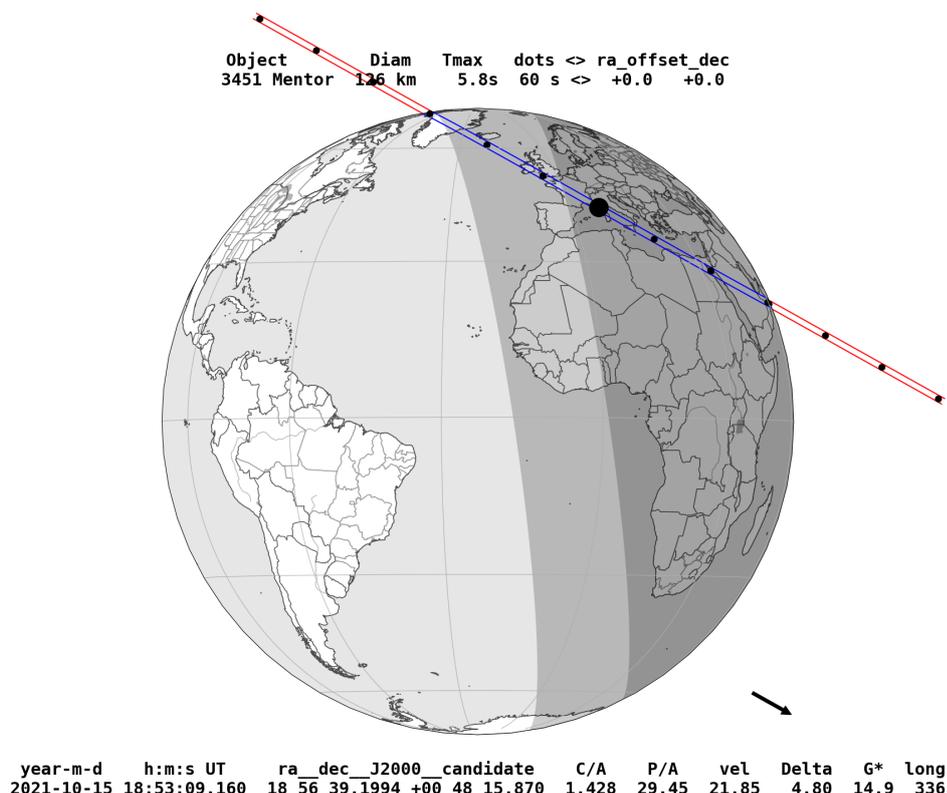


Figura 6.14 – Mapa de predição para o evento de 15/10/2021.

Tabela 6.7 – Dados dos observadores para o evento de Outubro de 2021.

Nome	Local	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Tempo de Exposição (s)
Michel Boutet	Toulouse, França	43,5018	1,2888	178	0,128
Pierre Le Cam	Pressigny, França	46,92516834	0,7883	58	0,8
Matthieu Conjat	Nice, França	43,721542	7,3004	390,994	0,34

Neste caso vale ressaltar os dados retirados da fotometria para o observador Michel Boutet, pois é possível notar a passagem de nuvens e o balanço do telescópio durante a ocultação, conforme ilustra a figura 6.15. Neste caso, mesmo realizando a razão entre o fluxo das estrelas não é possível identificar uma ocultação, restando as observações de Pierre Le Cam e Matthieu Conjat. O ajuste da curva de luz destes observadores encontram-se na figura 6.16, onde na curva de Matthieu Conjat é possível identificar duas quedas, estando ambas englobadas pelo ajuste.

Tendo em vista que a curva de Matthieu Conjat é dupla a forma correta de se realizar o ajuste seria dividi-lo em duas partes, porém apenas para termos uma ideia

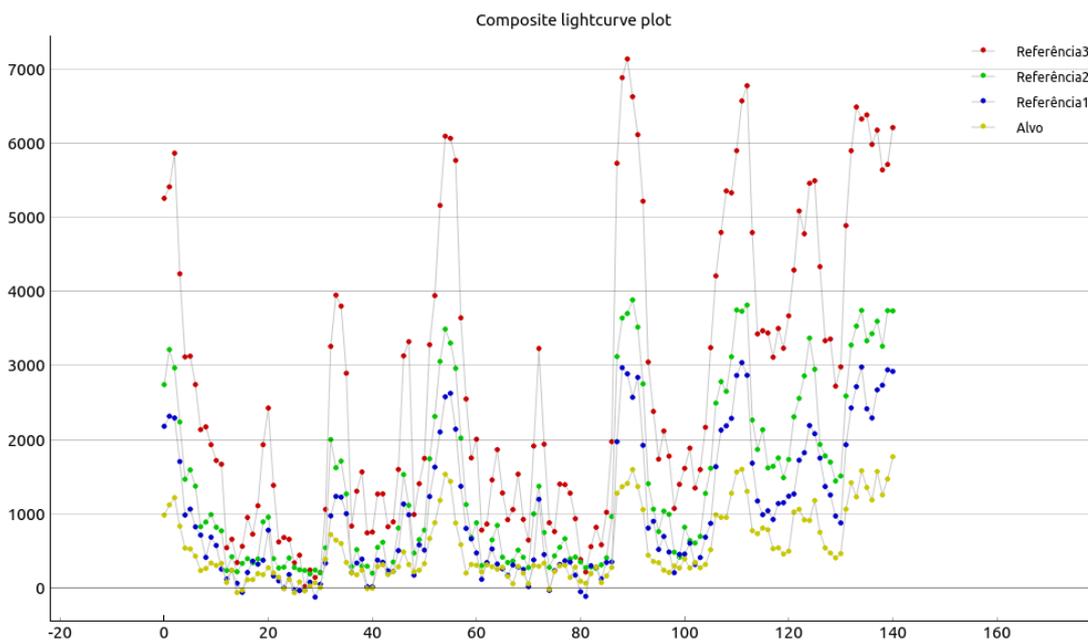


Figura 6.15 – Dados da fotometria para as imagens de Michel Boutet.

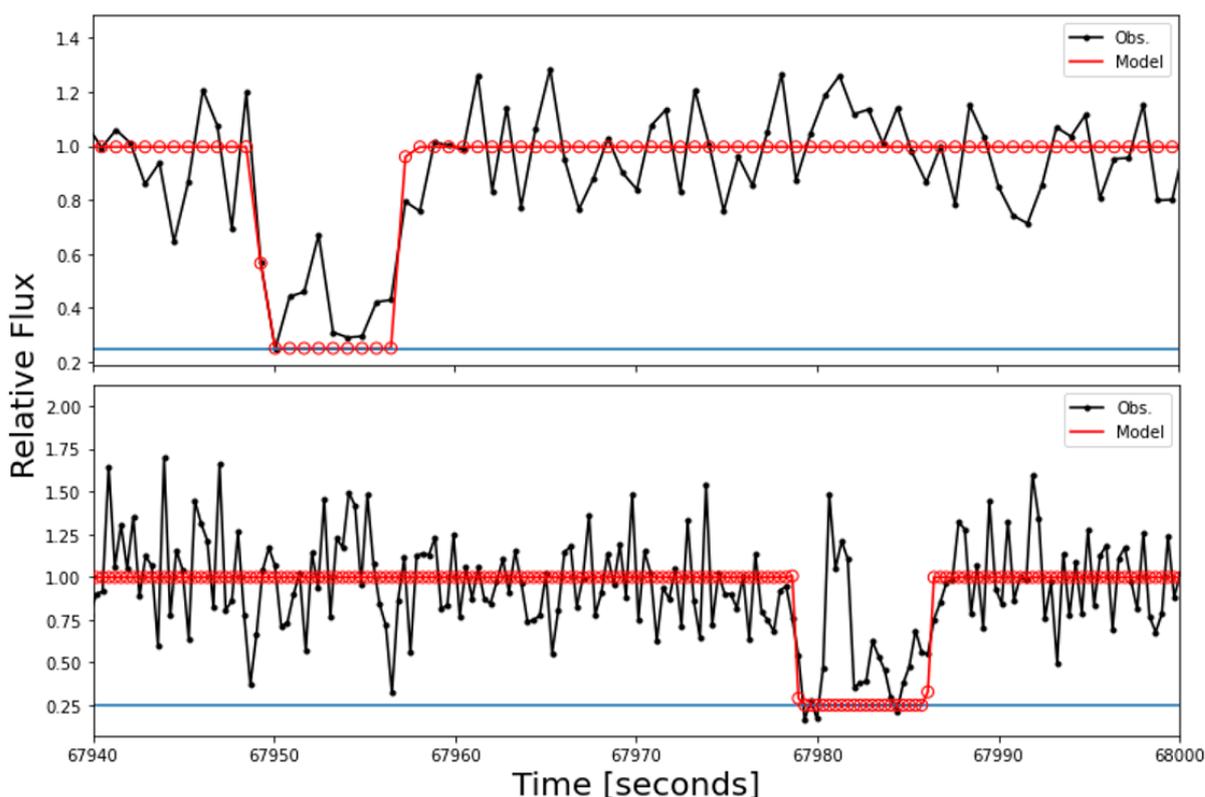


Figura 6.16 – Curvas ajustadas, onde a primeira refere-se aos dados de Pierre Le Cam e a segunda à Matthieu Conjat. Note que na curva de Conjat é possível identificar um pico no centro do ajuste realizado, indicando que na verdade houveram duas quedas.

do tamanho do corpo iremos obter as cordas de ocultação e realizar o ajuste da forma do corpo supondo esta queda como única. A figura 6.17 apresenta esta ideia, onde

é possível observar que a curva de Michel Boutet mesmo com todo ruído deveria ser negativa, por sua posição estar muito distante do local de passagem do corpo. Os dados para esta elipse ajustada se encontram na tabela 6.8, note que mesmo supondo um corpo bem achatado o raio equatorial assume um valor cerca de 10 km maior do que o esperado, porém como citado anteriormente, para obtermos as dimensões corretas deste objeto deve-se realizar o ajuste para as duas quedas da curva de Conjat, conforme apresenta a figura 6.18.

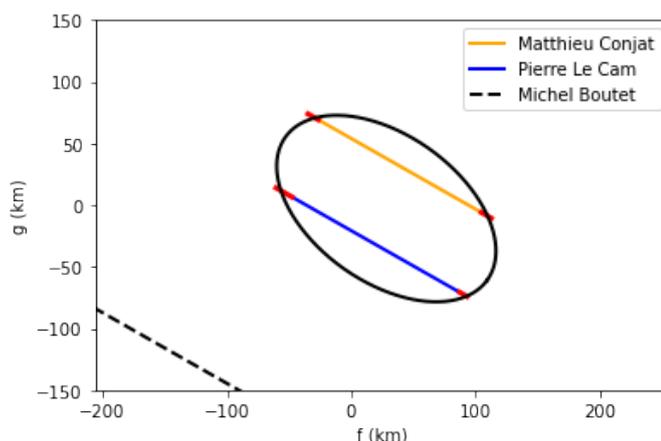


Figura 6.17 – Ajuste da elipse supondo que a corda do Matthieu Conjat fosse única.

Tabela 6.8 – Dados da elipse ajustada para o evento de Outubro de 2021, supondo a corda de Matthieu Conjat como única.

Centro em f	29 ± 2 km
Centro em g	$-0,4 \pm 2,5$ km
Raio Equatorial	98 ± 2 km
Raio polar	56 km
Raio equivalente	74 km
Achatamento	$0,43 \pm 0,03$
Ângulo de posição	127 ± 92

Os tempos de imersão e emersão deste caso podem ser observados na tabela 6.9, onde no caso de Conjat estes estão divididos em duas partes, devido às duas quedas. Utilizando estes dados podemos plotar as cordas de ocultação no plano de céu, obtendo o resultado apresentado na figura 6.19.

Tabela 6.9 – Tempos de imersão e emersão obtidos, resultando em uma corda única por Pierre Le Cam e uma corda dupla por Matthieu Conjat.

Observador	Tempo de Imersão (UTC) (s)	Tempo de Emersão (UTC) (s)
Pierre Le Cam	2021-10-15 18:52:29,612 \pm 0,161	2021-10-15 18:52:37,302 \pm 0,345
Matthieu Conjat	2021-10-15 18:52:58,980 \pm 0,233	2021-10-15 18:53:00,556 \pm 0,116
Matthieu Conjat	2021-10-15 18:53:01,908 \pm 0,123	2021-10-15 18:53:06,245 \pm 0,245

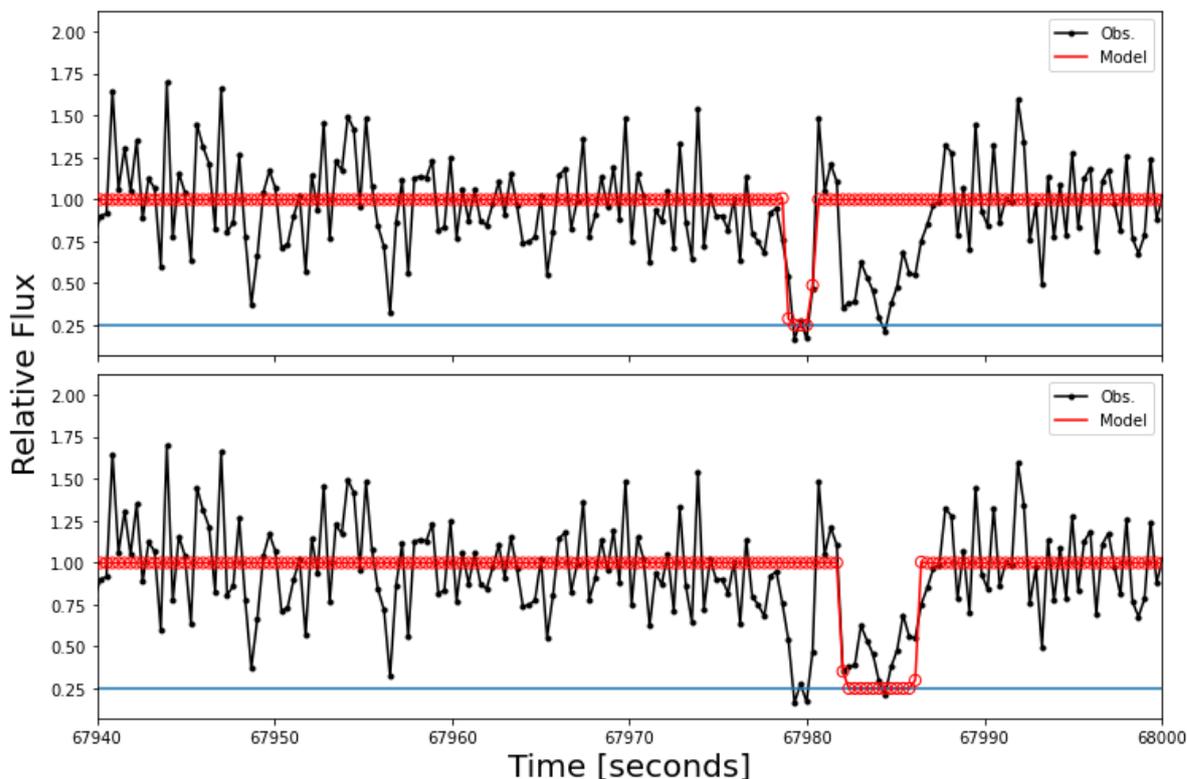


Figura 6.18 – Ajuste da curva de Matthieu Conjat para as duas quedas aparentes, resultando na obtenção de uma corda dupla.

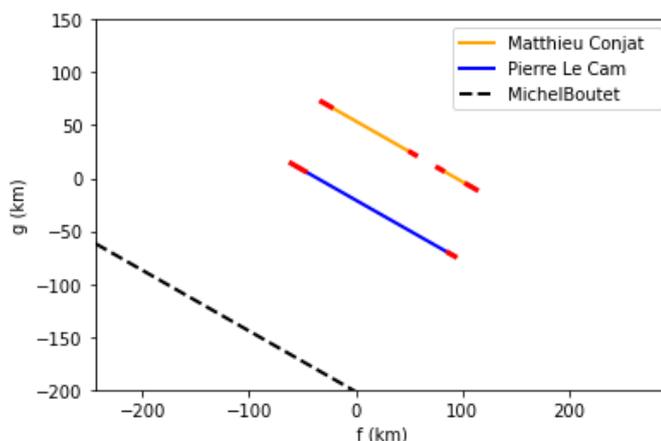


Figura 6.19 – Projeção das cordas de ocultação levando em conta a queda dupla apresentada na curva de Matthieu Conjat.

A duplicidade na corda de Conjat nos leva a refletir e levantar hipóteses sobre possíveis causas. Como mostrado anteriormente, quando um objeto possui atmosfera é possível encontrar algumas assinaturas na curva de luz, como um pico central e uma queda suave no fluxo da estrela. Neste caso o pico não se encontra no centro e não temos uma suavidade na queda da curva de luz, portanto não se trata de uma atmosfera. Estas cordas ainda podem indicar um objeto binário, duplo de contato ou uma grande depressão na forma de Mentor, porém com os dados obtidos até então,

não é possível definir qual destas hipóteses é a mais adequada. Desta forma, o que podemos fazer para ter uma ideia de como seria a forma de Mentor caso este fosse binário, ou duplo de contato, é o ajuste visual de dois objetos englobando todas as cordas, conforme ilustra a figura 6.20.

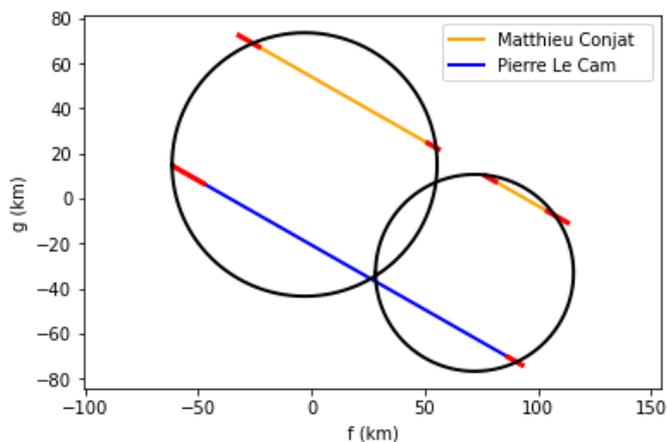


Figura 6.20 – Ajuste supondo um corpo binário onde um dos objetos estaria parcialmente atrás do outro, ou um objeto duplo de contato onde estes estão conectados entre si.

Portanto, para termos certeza com relação a forma deste objeto é necessário que sejam feitas mais observações de eventos para este, até então, temos apenas hipóteses com relação ao seu real formato. Assim como nos casos anteriores podemos plotar um mapa dos observadores deste evento, onde neste caso temos um observador fora da região de passagem da sombra, como ilustra a figura 6.21. Vale ressaltar que mesmo que a observação de Michel Boutet tenha sido negativa, esta auxilia para delimitarmos o local de passagem do objeto, rendendo mapas de predição mais precisos para Mentor.

Tendo em vista todos estes eventos, podemos reunir os dados dos observadores para fornecer as novas posições astrométricas para Mentor, que serão responsáveis para maior precisão nas próximas observações. A tabela 6.10 apresenta estes dados para cada um dos eventos.

Tabela 6.10 – Posições astrométricas observadas para o objeto (3451) Mentor.

Data/Hora	Ascensão reta (mas)	Declinação (mas)
2019-07-22 22:41:11,240	14 00 28,7521218 \pm 0,664	4 52 55,392637 \pm 1,405
2020-03-15 02:01:24,980	16 50 49,4036422 \pm 14,754	0 44 52,251014 \pm 10,808
2021-10-15 18:53:09,180	18 56 39,2467915 \pm 0,674	-0 48 14,625885 \pm 0,739

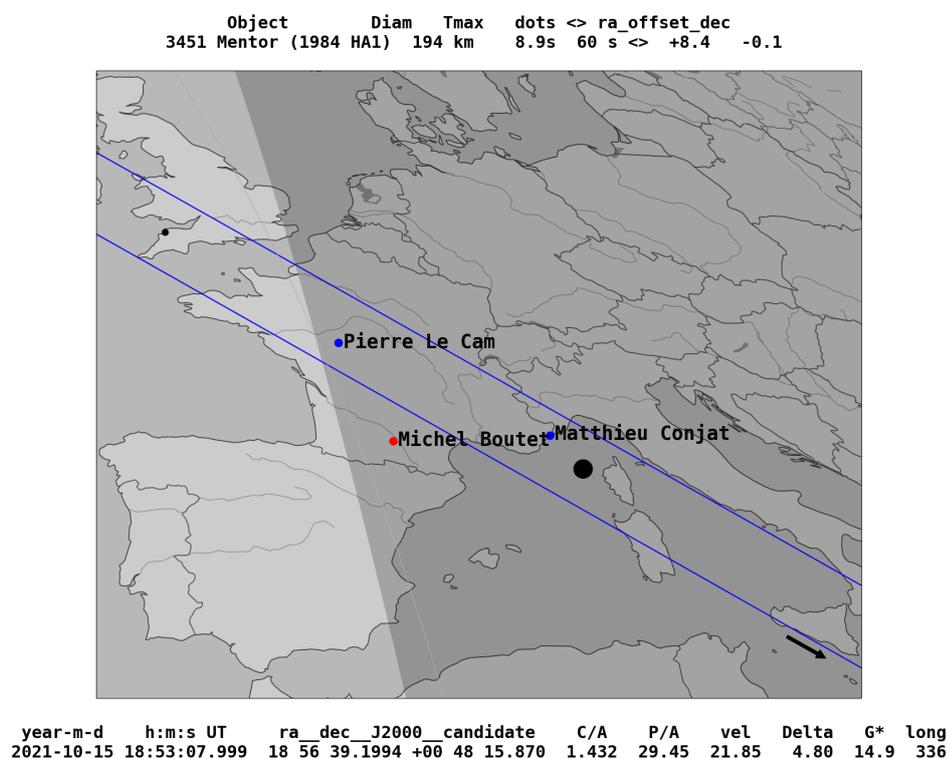


Figura 6.21 – Projeção da trajetória da sombra, onde Michel Boutet está representado por um ponto vermelho fora do local de visualização da ocultação.

7 APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

Existem diversas maneiras de abordar este tema na educação básica, a forma mais completa seria passando por todos os tópicos abordados neste trabalho, desde a predição, observação e análise dos dados. Caso isto seja possível os alunos desenvolverão um aprendizado bem consolidado, tendo um maior proveito da abordagem do tema, mas como diferentes professores possuem diferentes realidades, sabemos que nem sempre isto é possível. Uma alternativa para aplicação quando não é possível realizar a observação, seria algo similar ao capítulo anterior, onde o professor juntamente aos alunos poderia realizar a análise, ou até mesmo realizar esta sozinho e posteriormente apresentá-la aos alunos, apenas para que estes compreendam a técnica. A escolha do conteúdo no qual a técnica de ocultações estelares será inserida também é de grande versatilidade, podendo ser tratado na parte de movimento retilíneo uniforme (MRU), devido aos cálculos do tamanho do objeto, em gravitação universal e leis de Kepler, por conta do movimento orbital destes corpos, e em óptica, abordando tópicos como difração e eclipses.

Dentro desta perspectiva o autor deste trabalho preparou e aplicou uma aula para uma turma do primeiro ano do ensino médio de um colégio estadual no Paraná, com o objetivo de analisar como os alunos reagiriam ao se depararem com este tema.

A aula ocorreu logo após os alunos terem estudado os conteúdos de movimento retilíneo uniforme, onde esta teve duração de apenas 45 minutos. Neste caso, como o tempo era curto, não era possível realizar uma observação de um evento, portanto a aula proposta teve uma abordagem um pouco diferente.

No início da aula foi realizada uma introdução ao tema de ocultações estelares, muito similar ao que foi feito no começo deste trabalho, apenas para que os alunos soubessem o que é uma ocultação e como ela ocorre. Em seguida foram apresentadas diferentes curvas de luz aos alunos, com o intuito de mostrar que curvas de luz podem possuir assinaturas referentes ao objeto que está sendo analisado, como anéis, atmosfera e objetos duplos. Foi realizado também um exemplo para os alunos da ocultação de um objeto opaco comum, apenas para que estes entendessem como calcular o tamanho do objeto (ΔS), tendo o intervalo de tempo que a estrela passou ocultada (Δt) e a velocidade do objeto (v). Neste caso a fórmula utilizada está representada na equação 7.1, sendo esta uma equação básica do MRU.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (7.1)$$

A próxima etapa da aula foi fazer com que os alunos colocassem em prática o conhecimento absorvido, para isto a sala foi dividida em 6 equipes, onde cada equipe

recebeu uma folha com a curva de luz de um objeto e sua velocidade, conforme ilustra a figura 7.1. Todas estas curvas foram feitas de forma sintética precedendo a aula, pretendendo deixá-las da forma mais clara possível para um primeiro contato dos alunos com o tema.

As equipes tiveram então que dizer qual a principal característica de sua curva de luz e calcular o tamanho destes objetos, supondo que estes são circulares e a observação foi realizada em seu centro. O valor da velocidade fornecida de cada objeto era diferente, assim como o tempo em que a estrela permaneceu ocultada, portanto cada grupo também chegou em um valor diferente para o tamanho de seus objetos.

Após a realização da análise, cada equipe teve de apresentar para o resto da turma o resultado que obteve, explicando o porquê da forma de sua curva de luz e fornecendo o tamanho obtido para o objeto, nos casos onde eram corpos binários foram calculados os tamanhos para ambos os corpos. Vale ressaltar que foram preparados *slides* previamente por parte do professor, onde nestes constavam todas as contas que cada grupo deveria realizar para chegar ao seu resultado, juntamente a característica principal que o objeto daquele grupo possuía. Conforme os grupos foram apresentando seus resultados os *slides* foram sendo apresentados, fazendo com que grande parte dos estudantes se surpreendessem ao perceberem que haviam chegado no resultado correto. Um exemplo destes slides pode ser visualizado na figura 7.2, onde nesta aula todas as equipes obtiveram sucesso tanto com os cálculos, quanto a determinação das características do objeto, mostrando que mesmo com apenas uma breve introdução do tema, este é acessível aos alunos. Após a conclusão das atividades todos os grupos entregaram as folhas onde constavam as informações e os cálculos realizados, que posteriormente serviram como material avaliativo. Todo este processo está descrito no plano de aula desta sequência, que se encontra no anexo deste trabalho.

De forma geral os alunos demonstraram grande interesse e engajamento na aula, além de apresentarem assimilações interessantes entre os exemplos apresentados e situações reais, como por exemplo, quando foi questionado se uma ocultação pelo planeta saturno teria uma característica geral similar ao resultado apresentado na figura 7.2, visto que, a curva de luz de uma ocultação pelo planeta Saturno, também deveria conter quedas no fluxo da estrela devido a passagem de anéis e algumas características atmosféricas. Ao fim da aula os alunos também realizaram diversas perguntas pertinentes sobre a técnica, a fim de compreenderem mais a fundo o processo observacional.

Um dos principais motivos para este interesse despertado na turma veio dos alunos saberem que estavam lidando com um tema que astrônomos profissionais trabalham em seu cotidiano, fazendo com que os estudantes se sentissem um pouco mais próximos para compreender um trabalho do meio acadêmico.

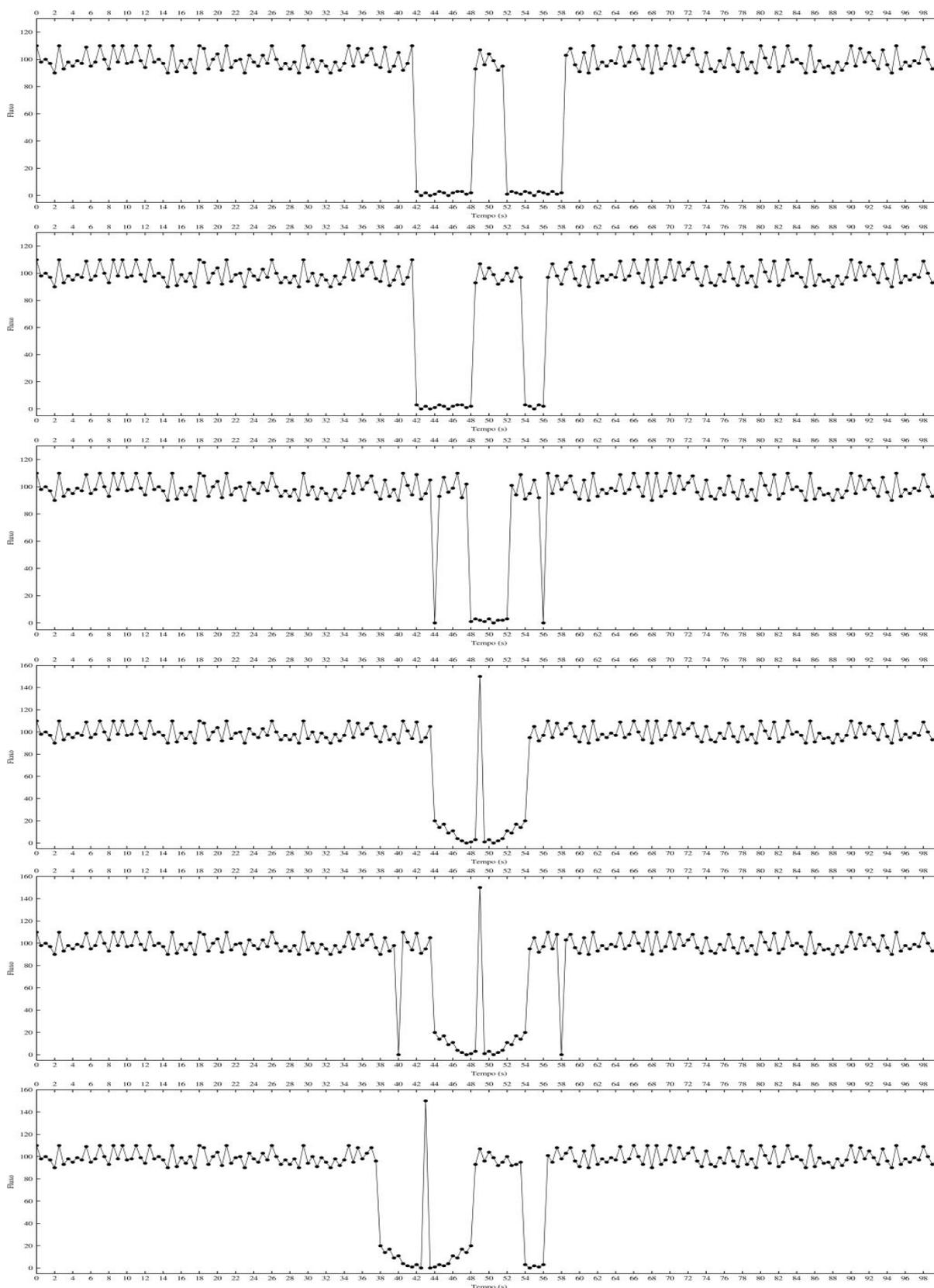


Figura 7.1 – Curvas de luz fornecidas junto à velocidade de cada objeto para que os grupos calculassem o tamanho dos corpos, supondo estes como circulares e assumindo que todas as observações gravaram a região central dos objetos. Os alunos tiveram também que identificar qual a principal característica apresentada na curva recebida. O eixo horizontal do gráfico apresenta o tempo de onde eles tiraram as medidas e o eixo vertical o fluxo da estrela.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\Delta s = v \cdot \Delta t$$

$$\Delta s = v \cdot (t_f - t_i)$$

$$\Delta s = 25000 \cdot (54 - 44)$$

$$\Delta s = 25000 \cdot 10$$

$$\Delta s = 250000 \text{ m}$$

Diâmetro do objeto = 250 km

**Objeto com anel
e atmosfera.**

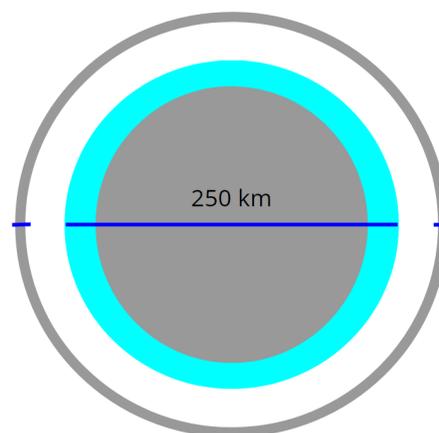


Figura 7.2 – Exemplo de *slide* utilizado durante a aula, onde para cada grupo foi realizado um material diferente constando os cálculos e uma representação do objeto apresentado na curva de luz recebida pelas equipes.

8 CONCLUSÃO

A técnica de ocultações estelares sem dúvidas nos fornece uma boa noção com relação à forma e posição dos corpos do Sistema Solar. Por mais que esta seja extremamente complexa, seu estudo e desenvolvimento se torna totalmente plausível na educação básica, visto que, esta reúne diferentes aspectos da aprendizagem, partindo do processo empírico da experimentação até um processo reflexivo para interpretação dos dados obtidos. Esta apresenta também um caráter visual muito forte, o que facilita a compreensão dos conceitos por parte dos alunos. A versatilidade de sua aplicação também é um facilitador para seu uso, podendo ter início na obtenção dos dados, ou somente da análise de curvas já obtidas.

Assim como em diferentes áreas de pesquisa em astronomia, as ocultações estelares também apresentam cálculos complexos, tornando inviável apresentá-los na educação básica, porém para a obtenção das cordas de ocultação de um corpo, é possível apresentar os cálculos aos alunos, tendo em vista que estes vão de acordo com a bagagem dos estudantes, sendo comumente apresentados nas disciplinas de física. Conceitos de geografia relacionados a projeção da sombra sobre o planeta também podem ser abordados dentro desta temática, tornando-a interdisciplinar. Cursos técnicos e clubes de astronomia também são potenciais públicos para o ensino desta técnica, podendo haver uma colaboração entre instituições para obtenção de um número maior de dados para um mesmo objeto.

Caso diversas escolas venham a adotar a aplicação deste método, podemos reunir os dados obtidos por estas com dados de astrônomos profissionais e amadores que já praticam esta técnica, rendendo uma análise mais completa dos corpos do Sistema Solar. No caso do objeto (3451) Mentor, apenas com a análise de três cordas já conseguimos identificar que este é possivelmente binário, duplo de contato, ou apresenta uma grande depressão em sua forma, caso houvessem mais observadores poderíamos determinar com maior precisão o formato deste objeto.

As características apresentadas por Mentor são de interesse para a comunidade científica, pois caso este seja duplo, podemos compará-lo com os objetos desta mesma região de forma a observar se existem outros corpos com estas características. Caso haja outros objetos, podemos tentar compreender o porquê destes estarem acumulados nesta região, onde a resposta desta pergunta deve estar relacionada com a formação do Sistema Solar. Caso não haja um grande número de objetos com esta forma dentre os Troianos, podemos refletir sobre o motivo pelo qual Mentor se encontra nesta região, podendo indicar uma migração por parte deste objeto. Portanto o ensino desta técnica contribui não somente com o processo de aprendizagem do aluno, mas também em nossa compreensão como sociedade sobre a evolução do Sistema Solar.

9 REFERÊNCIAS

BRAGA-RIBAS, F. **Explorando os objetos transnetunianos pelo método de ocultações estelares: predição, observação, Quaoar e os primeiros resultados**. 2013. 285 p. Tese (Doutorado em Astronomia e Astrofísica) - Observatório Nacional, Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BUIE, M. W. et al. Size and Shape Constraints of (486958) Arrokoth from Stellar Occultations. **The Astronomical Journal**, Abr. 2020. p. 27.

DAVIS, J. **Exploring Jupiter's Trojan Asteroids**. Disponível em: <<https://astronomy.com/magazine/news/2018/09/exploring-jupiters-trojan-asteroids>>. Acesso em: 05 Jul. 2022.

ELLIOT, J. L. Stellar Occultation Studies of the Solar System. **Anual Reviews of Astronomics and Astrophysics**. v.17, p. 455-475, 1979.

FERREIRA, C. et al. **Dia do Asteroide**. Portugal: Livro de Resumos, 2021.

GOMES-JÚNIOR, A. R. et al. SORA: Stellar occultation reduction and analysis. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**. v. 511, p. 1167-1181, Jan. 2022.

GOMES-JÚNIOR, A. R. et al. **Stellar Occultation Reduction Analysis**. Disponível em: <<https://sora.readthedocs.io/index.html>>. Acesso em: 17 Fev. 2022.

GRAV, T. et al. WISE/NEOWISE Observations of the Jovian Trojan Population: Taxonomy. **The Astrophysical Journal**. v. 759, n. 1, p. 10, 2012.

HORVATH, J. E. Uma proposta para o ensino de astronomia e astrofísica estelares no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 35, n. 4, p. 4501, Fev. 2013.

JELETIC, J. **Solar Eclipse From Greenville, S.C.** 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2017/solar-eclipse-from-greenville-sc/>>. Acesso em: 20 Fev. 2022.

Klet Observatory. Disponível em: <<https://names.klet.org/en/detail/3451>>. Acesso em: 05 Jul. 2022.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino da Astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 31, n. 4, p. 4402, Jun. 2009.

ROMMEL, F. L. et al. Stellar occultations enable milliarcsecond astrometry for Trans-Neptunian objects and Centaurs. **Astronomy & Astrophysics**. v. 644, p. 15, Nov. 2020.

SPINA, F. A. **Determinação da forma do objeto Troiano (624) Hektor a partir de inversão de curva de luz e ocultações estelares**. 2021. 92 p. Dissertação (Mestrado em Física e Astronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

10 ANEXO

PLANO DE AULA					
Disciplina	Professor	Serie	Turma	Curso	Aulas Previstas
Física	Eros	1º	B	Ensino regular	1
CONTEÚDO ESTRUTURANTE		CONTEÚDO GERAL		CONTEÚDO ESPECÍFICO	
Movimento		Astronomia		Ocultações Estelares	
OBJETIVO GERAL		OBJETIVOS ESPECÍFICOS			
Compreender de forma geral o funcionamento de uma ocultação estelar e como podemos obter dados através desta.		Analisar uma curva de luz e identificar se esta possui atmosfera ou algum material/satélite ao redor de um corpo principal. Calcular o tamanho do objeto baseando-se em sua curva de luz.			
ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS					
<p>Início (10 minutos): Realização de uma introdução sobre o funcionamento da técnica de ocultações estelares, seguido de um exemplo onde é calculado o tamanho de um objeto (72km) baseando-se no tempo de ocultação obtido através de sua curva de luz (6s) e em uma velocidade pré-definida (12km/s), supondo uma corda central e um objeto circular. Este cálculo será realizado utilizando a equação básica de movimento retilíneo uniforme ($v=\Delta s/\Delta t$), já conhecida pelos alunos. Serão discutidas também, as possíveis características diversas que um corpo pode apresentar em sua curva de luz (Objetos com anéis, atmosfera, satélites naturais e objetos binários).</p> <p>Meio (20 minutos): Divisão da turma em equipes de 5 alunos e fornecimento de diferentes curvas de luz produzidas previamente pelo professor para cada equipe. Os alunos deverão descobrir quais as principais características de sua curva de luz e calcular o tamanho do objeto recebido ($v=\Delta s/\Delta t$), onde o tempo de ocultação pode ser obtido através da curva de luz recebida e a velocidade de cada objeto foi fornecida na mesma folha, sendo esta diferente para cada grupo.</p> <p>Fim (15 minutos): Apresentação de cada grupo para toda turma com os resultados obtidos para sua curva de luz, ressaltando o tamanho do objeto calculado e suas principais características.</p>					
RECURSOS DIDÁTICOS					
Quadro negro, giz, computador e televisão.					
CRITERIOS DE AVALIAÇÃO					
Analisar se os alunos compreenderam o que é uma ocultação estelar e como obter o tamanho e características do objeto ocultador através de sua curva de luz.					
INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO					
Apresentação realizada por parte das equipes sobre os resultados obtidos em cada curva de luz e uma folha escrita contendo os cálculos realizados e um pequeno resumo das características do objeto analisado.					
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS					
GOMES-JÚNIOR, A. R. et al. Stellar Occultation Reduction Analysis . Disponível em: < https://sora.readthedocs.io/index.html >. Acesso em: 03 Ago. 2022.					