

RELATÓRIO DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
REFERENTE AO PERÍODO DE 01/01/2022 A 31/07/2022

SOLAR SYSTEM - A WEB INTERFACE BASED ON SORA

ALUNO: João Victor Alcantara Pimenta
Cursando o 6º Período do curso de Física Computacional na
Universidade de São Paulo

ORIENTADOR: Dr. Gustavo Benedetti Rossi
COORIENTADOR: Dr. Rodrigo Boufleur

Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia - LIneA/MCTI
INCT do e-Universo



Contents

1	Introdução	1
2	Conceitos Fundamentais	3
2.1	Ocultações	3
2.2	SORA	4
3	Objetivos	5
4	Metodologia	8
4.1	Do desenvolvimento da Interface	8
4.2	Da interface	10
5	Resultados	12
5.1	Da instalação e execução	12
5.1.1	Windows	12
5.1.2	Linux	12
5.2	Da interface	13
5.2.1	Identidade Visual	13
5.2.2	Divisão e funcionalidades	14
5.2.2.1	Predição	14
5.2.2.2	Curvas de Luz	15
5.2.2.3	Observadores	16
5.2.2.4	Cordas	17
5.2.3	Documentação	18
6	Conclusões e Perspectivas	19
A	Planejamento do OccultIN	22

B Versão mais atual do OccultIN

24

Abstract

Com o *Large Survey of Space and Time (LSST)*, do *Vera Rubin Observatory*, e seus planejados dez anos de ininterrupta observação do sul celeste, a astrofísica de corpos do Sistema Solar será revolucionada. Grande parte das descobertas no Sistema Solar serão de pequenos corpos, dos quais espera-se que a quantidade catalogada se multiplique por dez, comparado ao número atual de corpos do tipo conhecidos. Estes tem tipicamente, para um observador na Terra, magnitudes aparentes maiores que dezesseis e não são ideais de serem estudados por observações diretas pela maioria dos telescópios pequenos ou médios. Nestes casos, o uso de ocultações estelares pode ser de grande valia. Observando a variação de fluxo luminoso causado pela passagem deste corpo em frente à uma estrela, é possível obter grande resolução espacial do evento. A partir de observações do tipo, não só é possível derivar a configuração e formato do corpo medido, como também determinar características do seu arredor. Anéis, atmosfera, satélites e jatos são algumas das possibilidades de descobertas associadas aos eventos de ocultação. Apesar das vantagens, ocultações se tratam ainda de astronomia de oportunidade, visto que ocorrem em momentos específicos determinados pelas efemérides e geometrias do corpo, estrela e observador envolvidos. Por isso, uma quantidade razoável dos eventos que são observados o são por astrônomos amadores. Temos uma conjunção notável de grande fluxo de dados a serem gerados pelo LSST e uma quantidade razoável de observadores não especialistas, que motiva a *Occultation Interface (OccultIN)* - uma interface online baseada no SORA, que por sua vez é uma biblioteca para Python responsável por performar os processos de predição, redução e relacionados usados pela interface. Junto com a 11tech, equipe de desenvolvedores, se realiza uma interface que, baseada nos processos já bem estabelecidos pelo SORA de predição, análise e redução de curvas de luz, facilite e acelere os processos supracitados para astrônomos interessados em todo o mundo. A interface divide o processo em quatro telas principais: Predição de eventos de ocultação, configuração de curvas de luz do evento, determinação dos observadores e projeção das cordas na esfera celeste junto ao *fitting* de elipses para ajustar o formato do corpo. Com a divisão, o processo de análise e redução se torna mais intuitivo e a interface cumpre sua proposta, pela sequência de telas apresentadas, sugerindo um fluxo ao usuário. No momento de escrita deste resumo o OccultIN tem disponível uma versão para Windows e Linux. Em Linux, é possível executar o programa como servidor, de modo que a aplicação seja acessada por outras máquinas que se conectem à esta. Uma documentação de usuário também está sendo

desenvolvida para auxiliar no uso da aplicação. Apesar de interfaces em geral terem limitações de uso inerentes às escolhas do que é disposto em tela, o OccultIN parece cumprir seu papel, acelerando e facilitando os processos mais comuns.

Abstract

With the planned ten years of uninterrupted observation of the Southern Sky by the Large Survey of Space and Time (LSST) from Vera Rubin Observatory, Solar System astrophysics will be revolutionized. A significant part of discoveries in our Solar System will be in the realm of small bodies, of which we expect to multiply by ten the number cataloged, compared to the current number of known bodies. Typically, those bodies have, for an observer on Earth, an apparent magnitude bigger than sixteen and are not ideal to be studied with direct observations by most small or medium telescopes. In these cases, the use of stellar occultations can have great advantages. By observing the change in the luminous flux caused by the passage of the body of interest in front of a star, it is possible to obtain a better spatial resolution of the event. Using those observations, it is not only possible to infer the configuration and shape of the body as we can also determine the characteristics of its surroundings. Rings, atmosphere, satellites, and jets are some possibilities of discovery associated with occultation events. Despite the advantages, occultations are a type of astronomy of opportunity as occultations occur in specific moments determined by the ephemeris and geometry of the body, star, and observer involved. Therefore, a reasonable amount of the events are observed by amateur astronomers. We have a particular conjunction of a large flux of data that is going to be created by the LSST and a good amount of non-professional astronomers that motivate the creation of the Occultation Interface (OccultIN) - a web interface based on SORA, the python library responsible of performing the processes of prediction, reduction and related used by the interface. In conjunction with 11tech, a team of developers, we create an interface that, based on the well-established processes by SORA of prediction, analysis, and reduction of light curves, facilitates and accelerates the processes described above to interested astronomers from the whole world. The interface divides the process into four main screens: Prediction of occultation events, the configuration of an events light curve, determination of the observers, and projection of strings in the celestial sphere along with the fitting of ellipses to determine the body shape. With this division, the analysis and reduction are made more intuitive, and the interface fulfills its role by suggesting the flux of work by order of presented screens. By the time of writing this abstract, OccultIN has an available version for Windows and Linux. In Linux, it is possible to run the program as a server so that other connected machines can access the application. A user guide is also being produced to improve the user experience using the interface.

Although interfaces have an inherent limitation caused by the choices of what gets to be displayed, OccultIN seems to fulfill its proposition well, accelerating and facilitating the most common processes.

Chapter 1

Introdução

O *Large Survey of Space and Time (LSST)* ambiciona ser um grande telescópio de solo, com amplo campo de visão, para obter imagens sequenciais cobrindo todo o céu do hemisfério sul a cada três noites. O levantamento vai conter imagens cobrindo por volta de 20.000 graus quadrados do céu em seis bandas ópticas no intervalo de 320-1050 nm ([Željko Ivezić, 2018](#)). É difícil predizer os avanços possíveis uma vez que a ciência tão dinâmica e não se manterá estática nos 10 anos de funcionamento do levantamento. Fato é que o LSST representa um avanço tão grande de resolução, qualidade e quantidade de dados, que serão especialmente importantes ao responder importantes perguntas em astrofísica.

Dentre os muitos usos dos novos dados, o LSST vai fornecer informações sobre milhões de novos pequenos corpos no Sistema Solar. Historicamente, novos dados mudaram drasticamente nosso conhecimento sobre formação e evolução no nosso Sistema Solar e no Universo. Com os novos dados, a astrofísica de corpos do Sistema Solar será revolucionada. Modelos sugerem que o levantamento será capaz de identificar 84% dos Asteroides Potencialmente Perigosos (PHAs - *Potentially Hazardous Asteroids*) acima de 140m ([Željko Ivezić, 2018](#)).

Devido ao pequeno tamanho destes corpos que virão a ser descobertos as técnicas de observação direta tornam-se limitadas, uma vez suas magnitudes aparentes (>16) são inacessíveis a telescópios de pequeno porte. A maior parte dos telescópios em terra apresentaram limitações em ter uma resolução suficiente para retirar informações de tais corpos. Uma alternativa que se apresenta é a de observação de ocultações estelares por estes pequenos corpos do Sistema Solar, pois depende da magnitude da estrela ocultada e não do objeto.

Observando a variação de fluxo luminoso pela ocultação, pode-se obter grande resolução espacial do evento e consequentemente derivar características físicas. Além disso é possível obter informações sobre os arredores. Anéis, atmosfera, satélites e jatos são algumas das possibilidades de descobertas associadas aos eventos (Braga-Ribas et al., 2019). Apesar disso, se trata ainda de astronomia de oportunidade, ou seja, eventos acontecem em instantes específicos e curtos intervalos de tempo. Assim, por ter curta e única janela de possibilidade, apenas alguns eventos são observados por grandes observatórios. Historicamente, grande parte das ocultações são observadas por astrônomos amadores.

Neste contexto, fica claro a importância do desenvolvimento de programas de redução dos dados de ocultações, acessível e simplificado, para profissionais e amadores. De forma mais geral, todos se beneficiam uma ferramenta visual e rápida que tenha as capacidades de predição de ocultações e redução dos dados, considerando também o aumento na quantidade de novas observações que serão feitas.

Assim se justifica o **Occultation Interface (OccultIN)** - uma interface online baseada no **SORA**. SORA (Stellar Occultation Reduction and Analysis), (Gomes-Júnior et al., 2022), é uma biblioteca desenvolvida em Python que realiza as funções descritas de predição e redução, entre muitas outras. A interface permite que facilmente previsões sejam feitas e, após observadas, dados da observação podem ser adicionados de forma intuitiva tal que os processos, também embutidos, de redução possam ser realizados, determinando seus instantes de início e fim de ocultação, a forma 2D do corpo dentre outras relevantes características físicas.

Discute-se no Capítulo 2 os conceitos fundamentais necessários para o entendimento do funcionamento da plataforma, nominalmente sobre ocultações estelares e sobre o SORA. Discorre-se, no Capítulo 3, sobre os objetivos do projeto, principalmente notando quais metas se tem para a interface. A metodologia é discutida no Capítulo 4, explicando quais foram os métodos e meios utilizados na construção da plataforma. Finalmente no Capítulo 5 mostra-se o produto atingido e apresenta-se um resumo de seu funcionamento. Algumas notas sobre o desenvolvimento e futuro da interface são postas no Capítulo 6.

Chapter 2

Conceitos Fundamentais

É relevante que alguns conceitos sejam explicitados para compreensão total das funcionalidades da interface. Neste capítulo explica-se brevemente sobre eventos de ocultações, e sobre o *SORA*, que torna possível as funcionalidades do OccultIN.

2.1 OCULTAÇÕES

Ocultações estelares, representadas na Figura 2.1, se referem ao fenômeno de quando corpos no Sistema Solar se alinham na linha de visão do observador à uma estrela. A passagem do objeto na frente da estrela faz que o fluxo de brilho medido pelo observador caia por um período de tempo relacionado principalmente às dimensões do corpo. Com esta medida se obtém diretamente informações como a dimensão do corpo tratado mas pode-se derivar outras muitas características associadas ao corpo, como albedo e densidade. Além disso, outros também deixam assinaturas na curva de luz obtida, entre eles: Anéis, atmosfera, satélites e jatos (Braga-Ribas et al., 2019). A exemplo do desenvolvimento realizado pelo ‘Grupo do Rio’, grupo envolvido com uma grande colaboração internacional, desde 2010, que vem obtendo importantes resultados com dados de ocultações, como a descoberta dos anéis de Chariklo (Braga-Ribas et al., 2014) e Haumea (Ortiz, J. L. et al., 2017), a observação de importantes características de superfície como no 2003AZ84 (Dias-Oliveira et al., 2017) ou 2002MS4 (Rommel, F. L. et al., 2021), além de vários outros trabalhos com outros corpos.

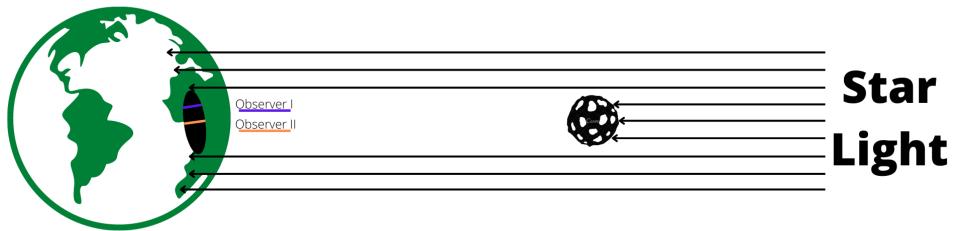


Figure 2.1: Geometria de uma ocultação estelar. Um corpo, ao passar na frente da luz da estrela, causa uma sombra na Terra. Como a estrela está muito distante, ela pode ser considerada como pontual e os raios de luz paralelos, fazendo com que a sombra do objeto tenha tamanho igual ao seu tamanho real. Diferentes observadores verão linhas (ou cordas) em diferentes posições da sombra. Elaborado pelo compilador.

Note que é possível e desejável, apesar de menos comum, mais de um observador tomar medidas de um evento, de forma que diferentes cordas podem ser retiradas de um evento. Cordas são utilizadas para derivar a forma 2D do corpo da linha de visão do observador e a projetar no plano celeste. Posteriormente, com dados de outras técnicas, é também possível derivar formas 3D, de forma que densidade e outros parâmetros físicos sejam determinados.

2.2 SORA

Sora é uma biblioteca orientada a objetos escrita em Python para performance de redução e análise de dados de ocultações desenvolvida para substituir, aprimorar e otimizar uma enorme quantidade de programas e rotinas usadas anteriormente para análise de dados de ocultações. Inicializa-se instanciando um corpo ocultador (*Body*), uma estrela (*Star*) ocultada e dados sobre o momento de ocultação. Observadores (*Observers*) e as Curvas de Luz (*Light Curve*) também são inicializadas para a realização da análise de dados.

A partir de uma curva de luz, o SORA é capaz de determinar momentos de início e fim da ocultação e projetar a corda no plano celeste usando as informações das classes inicializadas anteriormente. A partir das projeções das cordas é possível obter o tamanho aparente, forma e a posição do corpo durante a ocultação (Gomes-Júnior et al., 2022). Além disso, o SORA tem outras funcionalidades que não foram implementadas nesta primeira versão da interface e, por ser de código aberto e colaborativo, está em constante desenvolvimento¹.

¹Mais informações em [SORA \(2020\)](#)

Chapter 3

Objetivos

Considerado o volume de dados que serão gerados pelo *LSST*, muitas novas observações de ocultações e descobertas sobre o sistema solar serão possibilitadas ([Željko Ivezić, 2018](#)). Hoje, o processo de redução e análise é ainda trabalhoso. Ainda mais quando se considera o fato de que uma fração razoável dos dados observados são realizadas por astrônomos amadores ou pessoas sem profundo conhecimento na metodologia de redução dos dados em ocultações, este processo pode ser um limitador.

Foi pensado então no desenvolvimento de uma plataforma que possibilite velocidade e simplicidade no processo de redução de dados de curvas de luz em ocultações. Desta forma, possibilita-se a análise de mais curvas, por mais pessoas em menor tempo. A plataforma usa o *SORA* como base de funcionamento. Para o desenvolvimento da interface, foi desenvolvido um Produto Viável Mínimo (MVP, da sigla em inglês), como ilustrado na Figura 3.1. Aqui é representado todo o funcionamento da interface, de telas da aplicação ao fluxo de dados realizados no plano de fundo e interação entre as tabelas de dados usadas. A legenda explica o código de cores e linhas usadas, necessários para compreensão da representação.

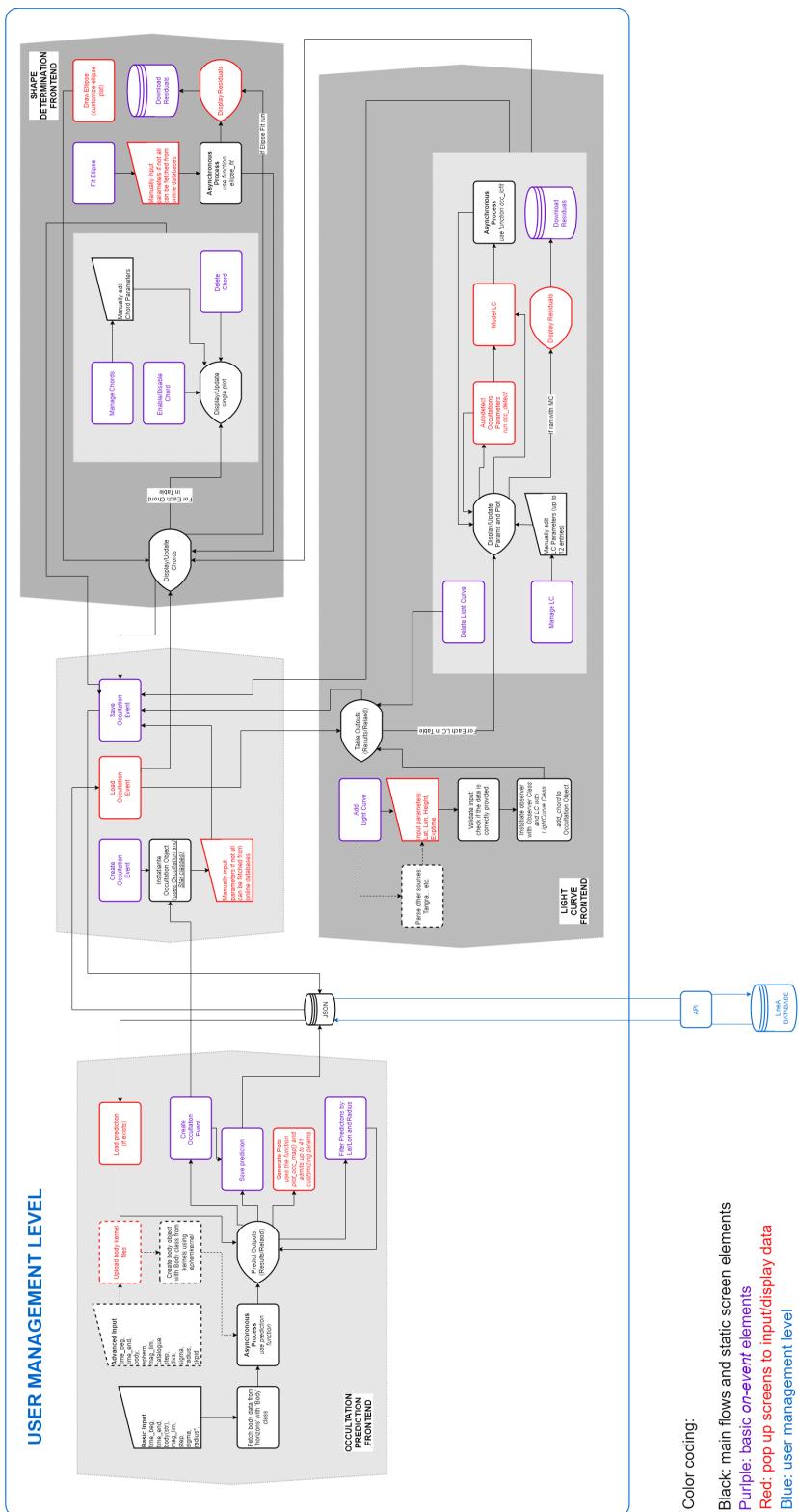


Figure 3.1: MVP inicial da plataforma OccultIN

Color coding:

- Black: main flows and static screen elements
 Purple: basic on-event elements
 Red: pop up screens to input/display data
 Blue: user management level
 Dashed: desired additional features

Styling code:

- Solid: basic needed features
 Dashed: desired additional features

Seguindo o planejamento, o usuário deve ser inicialmente capaz de realizar predições de ocultações a partir de um corpo e um intervalo de tempo de interesse. Dentro de uma previsão, um evento de ocultação pode ser inicializado dentre as possíveis muitas ocultações encontradas. Neste ponto, teremos um corpo ocultador, um momento de ocultação e uma estrela ocultada. Todos os processos são feitos pelo *SORA* por trás da plataforma. Execução e buscas de informações relevantes como características dos corpos e efemérides são feitas com o *SORA*.¹

Com a observação do evento feita, é possível um observador com sua localização e ligar a uma curva de luz do evento observado. O processo pode ser repetido quantas vezes for necessário, para diferentes observadores. Para cada curva de luz, a interface permite determinar os instantes de início e fim de uma ocultação usando os modelos para ajuste de curva, além de também realizar o cálculo dos modelos funcionais para a curva. O usuário também pode fazer ajustes em informações da estrela envolvida na ocultação.

Por fim, com as informações do corpo, estrela e observadores, a interface permite o ajuste da projeção da sombra no plano do céu, como uma elipse, que determina a forma e tamanho do corpo. No final, todos os dados usados e calculados podem ser salvos num arquivo de ‘log’, que servirão tanto para verificação como para uma possível reanálise.

Em suma, desenvolveu-se uma interface que performa, baseado no funcionamento do *SORA*, a previsão de eventos e a redução e análise de dados das ocultações. Além disso, o busca performar e ainda ser acessível para astrônomos amadores e rápido para todos.

¹Para mais informações, consultar o [SORA \(2020\)](#)

Chapter 4

Metodologia

Descreve-se, nas seções seguintes, a metodologia usada para o desenvolvimento da interface e a metodologia usada para o funcionamento da interface.

4.1 DO DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE

Para o desenvolvimento do Software relativo à plataforma foi contratada uma equipe de engenheiros de software. Isso é dado a expertise necessária para realizá-lo nas condições dadas.

Após algumas apresentações e discussões do que foi idealizado da interface e do funcionamento do SORA, além de informações básicas sobre ocultações, foi entregue o MVP, com três seções principais: Predição de ocultações, inicialização e tratamento de Curvas de Luz e determinação de forma do corpo. As telas idealizadas para desenvolvimento são apresentadas no Apêndice A. Tudo isso com as relações interseccionais descritas na Figura 3.1. O calendário proposto para o projeto é explicitado na Figura 4.1.

	2021		2022							
	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08
Milestones (and major planned activities)										
1 Recruitment of IT Specialists	■	■								
Project announcements	■									
Candidates interviewing	■									
Hiring and onboarding	■	■								
2 Occultation Prediction Interface			■	■	■					
Design interface wireframes			■							
Design back-end infrastructure				■	■					
Implement and test Interface				■	■					
3 Analysis interface: Light curve (chords)					■	■	■			
Design analysis interface wireframes (full)					■	■	■			
Design back-end infrastructure					■	■	■			
Implement and test light curve modules(s)					■	■	■			
4 Analysis interface: Body shape (ellipse fitting)						■	■	■	■	
Design back-end infrastructure						■	■	■	■	
Implement and test full analysis interface						■	■	■	■	
5 User Interface Delivery							■	■		
Product review (external committee)							■	■		
Prod. documentation review (external committee)							■	■		
6 Grant Report Delivery									■	
7 Publication in a peer reviewed journal									■	

Figure 4.1: Calendário com planejamento de desenvolvimento do projeto da interface.

Ao início das discussões com o grupo de desenvolvimento foi entregue um calendário de desenvolvimento da interface em si que se lê na 4.2. Durante todo o projeto, reuniões semanais foram realizadas para acompanhar o desenvolvimento e responder as dúvidas que surgiram ao longo da semana.

Tarefa Macro	Cronograma de Atividades												
	Jan 24-28	Fevereiro 31-04 07-11 14-18 21-25	Marco 28-04 07-11 14-18 21-25 28-01 04-08 11-15 18-22 25-29	Abri	Maio 02-06 09-13 16-20 23-27	Junho 30-03 06-10 13-17 20-24	Julho 27-01 04-08 11-15 18-22 25-29						
Etapa 1 - Análise e Arquitetura													
Criar dos model's no django (Banco Dados)	x												
criar boilerplate dos fontes do projeto	x												
criar build do electron+python	x			x									
criar gerenciador de fila de requisicoes													
Etapa 2 - Predição													
tela de splash					x								
tela de login	x												
tela de projetos	x												
tela de sobre/creditos				x									
tela de dadosusuario	x												
tela de trocarsenha		x											
tela de lembrarsenha		x											
tela de validacao de email		x											
tela de predicao 1 de 4	x												
tela de predicao 2 de 4	x												
tela de predicao 3 de 4	x												
tela de predicao 4 de 4	x			x									
tela de jobs		x		x									
tela de trabalho		x		x									
montar arvore		x		x									
listar/SelecionarPredicoes				x	x	x							
gerar graficos				x	x	x							
atualizar gerenciador de fila de requisicoes				x	x	x							
Etapa 3 - Gerenciar Eventos - Curvas de luz													
criar/importar curva de luz e grafico					x	x							
editar dados da estrela							x						
operacao de normalizacao e grafico					x	x	x						
operacao de fit e grafico							x	x	x				
graficos chisq, modelo							x	x	x	x			
resultados e exportacao							x	x	x	x	x		
Etapa 4 - Gerenciar Experimentos - Cordas													
Gerenciar Observadores								x	x				
Gerenciar Cordas								x	x	x			
Grafico das cordas e elipse										x			
Operacao de fit e grafico										x			
Operacao de filter e grafico											x		
Etapa 5 - Testes de Aceitacao												x	
criar instalador windows											x	x	
criar instalador linux											x	x	
criar instalador Mac											x	x	
ajustes de bugs											x	x	

Figure 4.2: Calendário com planejamento de desenvolvimento da interface.

Muita validação esteve envolvida em todo o projeto. Para início de cada seção supracitada , foram necessárias reuniões para explicitar os conceitos envolvidos na plataforma, de forma que o fluxo e campos implementados fossem coerentes com o que se precisa no processo. Explicitar as funções e parâmetros utilizados pelo *SORA* também se fez muito importante já que todo o funcionamento do OccultIN foi baseado neste.

Quando se chegou à uma versão OccultIN onde consideramos utilizável e estável o suficiente, começamos o processo de procura de erros e levantamento de problemas conceituais e de validação de campos. Uma planilha foi desenvolvida para acesso da equipe de desenvolvimento tivesse acesso aos erros encontrados e pudesse trabalhar sobre eles.

Também é desenvolvida em paralelo uma documentação de uso da interface, de forma que seu uso fique bem documentado para o usuário. Desenvolvida para estar disponível no [Read The Docs \(2022\)](#) utilizando o [Sphinx \(2022\)](#). A documentação está sendo escrita no projeto da interface no [GitHub Occultin \(2022\)](#).

4.2 DA INTERFACE

Foi-se desenvolvido o Occultin como uma aplicação para *desktop* com versões para Windows e Linux - suas respectivas instalações são especificadas no Capítulo 5. A

interface é estruturada em projetos, em que cada projeto é intimamente relacionado com uma atividade de predição. Naturalmente, a interface é equipada de uma tela dedicada para organização dos mesmos.

Vale ressaltar que todas funcionalidades da interface são baseadas no funcionamento do *SORA* e portanto, quando se faz uma predição, estamos interagindo com as funções relacionadas a *Predictions* da biblioteca. Isso vale igualmente para as outras etapas da interface.

A interface apresenta um fluxo de telas para a determinação de um objeto de predição. Especificada qual predição deve ser feita, pela passagem de parâmetros como corpo ocultador e período de tempo para ocultação, é carregado à tela todos os candidatos à eventos no período especificado. Uma árvore de hierarquia mantém todos os eventos listados visualmente.

Uma vez preditos, pode-se inserir dados da observação sobre um ou mais dos eventos de ocultação listados. Inserida a curva de luz medida, dá-se início ao processo de análise e redução dos dados da ocultação na plataforma. Sobre um dos eventos com curva de luz, foram colocadas funcionalidades para determinar instantes de início e fim do evento e modelar a curva.

Para cada curva de interesse adicionada a um evento de ocultação, um observador deve estar adicionado e relacionado à mesma, junto a seus detalhes de localização e efemérides. É possível também inserir e modificar os detalhes sobre a estrela ocultada.

Finalmente, a interface tem uma página para que se faça a projeção das cordas adquiridas no plano celeste e produza a forma 2D do corpo. Funcionalidades como adição de cordas negativas e gráficos de **Qui-quadrado** χ^2 para a qualidade dos parâmetros preditos do corpo também estão disponíveis.

Chapter 5

Resultados

A interface foi desenvolvida para duas distribuições de Sistema Operacional: Windows e Linux. O produto ao fim deste projeto é uma aplicação *desktop* para ambas. No Linux, é possível executar a interface no modo de Servidor, possibilitando o acesso de outras máquinas à interface. Descrevamos primeiro o processo de instalação.

O projeto pode ser encontrado em [GitHub Occultin \(2022\)](#).

5.1 DA INSTALAÇÃO E EXECUÇÃO

A instalação e execução da interface se dá da seguinte maneira nos Sistemas Operacionais que seguem.

5.1.1 Windows

No Windows a instalação é feita utilizando o executável disponível em [Intalação Windows \(2022\)](#).

5.1.2 Linux

A instalação em distribuições do Linux se segue por um *script bash* (.sh). Por meio do **wget**, software livre e aberto de busca de páginas pelos protocolos mais usuais de internet, faz-se o *download* do instalador.¹. Primeiro é necessário que tenha-se instalado esse pacote. Faremos:

¹mais informações em ([Wget, 2022](#))

```
$ sudo apt-get install wget
```

Para a instalação, fazemos:

```
$ wget https://11tech.com.br/sora/install-occultin-linux.sh  
$ chmod +x install-occultin-linux.sh  
$ ./install-occultin-linux.sh
```

Agora que temos a interface instalada, temos duas opções. Executar como servidor ou como aplicação local. Respectivamente devemos rodar os arquivos:

```
$ ./occultin-server.sh  
$ ./occultin.sh
```

Para atualizar a interface, basta reexecutar o arquivo de instalação e selecionar a opção referente ao que se deseja fazer, reinstalar ou atualizar.

5.2 DA INTERFACE

5.2.1 Identidade Visual

Em conjunção com a mestrandona Ferreira, P. R da Universidade de São Paulo, foi desenvolvido uma identidade visual dos símbolos que se referem ao Occultin. Os direitos de uso da arte foram cedidos ao Occultin, desde que mencionados os devidos créditos. O logo principal é apresentado na Figura 5.1. Todos os símbolos estão apresentados no Apêndice B, na Figura B.1.



Figure 5.1: Logo principal do Occultin.

5.2.2 Divisão e funcionalidades

A interface foi dividida ainda nos três grandes tópicos planejados. São eles Predição, Curvas de Luz, Observadores e Cordas. Para cada um deles se descreve os resultados do desenvolvimento nas subseções seguintes. Além disso, a interface conta com todo um sistema de identificação de usuário e organização de projetos. Um projeto consiste em uma predição e os desdobramentos de análise e redução, consequentes da predição nesta organização.

Para todas as subseções apresentadas, as imagens do fluxo mais completo estão apresentadas no Apêndice B.

5.2.2.1 Predição

Para a seção de predições o processo começa assim que se cria um projeto. Todo o processo é subsequente à ação de predição e estará contido dentro da mesma.

A predição é subdividida em 5 processos menores (Fig. 5.2) para guiar o usuário: **(1)** *Project Name*, **(2)** *Solar System Object*, **(3)** *Prediction Parameters*, **(4)** *Other Information* e **(5)** *Summary*. No primeiro, basta a inclusão do nome do projeto e de uma descrição. É em *Solar System Object* que temos de definir algumas propriedades fundamentais. Neste, escolhemos para quais corpos queremos que a predição seja realizada. A interface, por meio do *SORA*, permite a busca dos corpos pelo *Horizons/JPL*², catálogo de corpos e ephemerides do Sistema Solar. Também é possível fazer a inserção de corpos por arquivos locais.

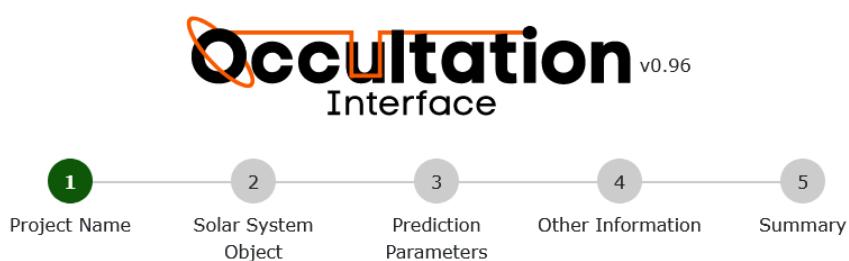


Figure 5.2: Passos referentes à Predição

O próximo passo, *Prediction Parameters*, diz respeito à determinação do intervalo de tempo sobre o qual deve-se executar a predição, a magnitude limitante para busca

²Mais informações podem ser encontradas em [Horizons/JPL \(2022\)](#)

no catálogo e de qual catálogo é feita a busca pela ocultação. Em *Other Information* tratamos de qual o passo (resolução) usado, em segundos, na busca por ocultações e do número de segmentos que se deve dividir a busca. A divisão em mais segmentos pode ser útil para buscas grandes ou em campos estelares muito densos. Dividir por partes diminui os erros de conexão com o servidor no meio da busca e limita a quantidade de dados em cada segmento. Pode-se também definir o *Off-Earth Sigma*, que representa com qual faixa de tolerância quer-se buscar por ocultações com sombras projetadas nos arredores da Terra. Por último, no último passo apresenta-se um sumário das opções selecionadas.

5.2.2.2 Curvas de Luz

Feita as previsões, pode-se identificar ocultações para todo corpo adicionado na previsão. Para cada uma dessas previsões vale o processo descrito a partir daqui. Visualizações da passagem da sombra e demais dados obtidos dos catálogos estelares estarão dispostos dentro da página da ocultação escolhida.

Para uma ocultação de interesse é natural que curvas de luz sejam observadas. Estas podem ser adicionadas na aplicação por meio de um arquivo em formato .dat que contenha, pelo menos, os instantes das imagens e o fluxo da estrela ocultada.

Pode-se adicionar quantas curvas de luz quanto se tenha. Novamente, para cada uma das curvas de luz, vale os processos discutidos a seguir. Dada uma curva de luz, teremos 3 processos principais a executar sobre eles: Normalização, Auto Detecção e *Fit*. No primeiro, o nome é autoexplicativo e o processo consiste na normalização da curva de luz. O *Auto Detect* é uma funcionalidade do *SORA* e permite que se identifique os instantes de ocultação na curva de luz de forma automatizada. Por fim podemos modelar a curva em *Fit*. No fim teremos uma tela do tipo mostrado na Figura 5.3 para cada curva de luz.

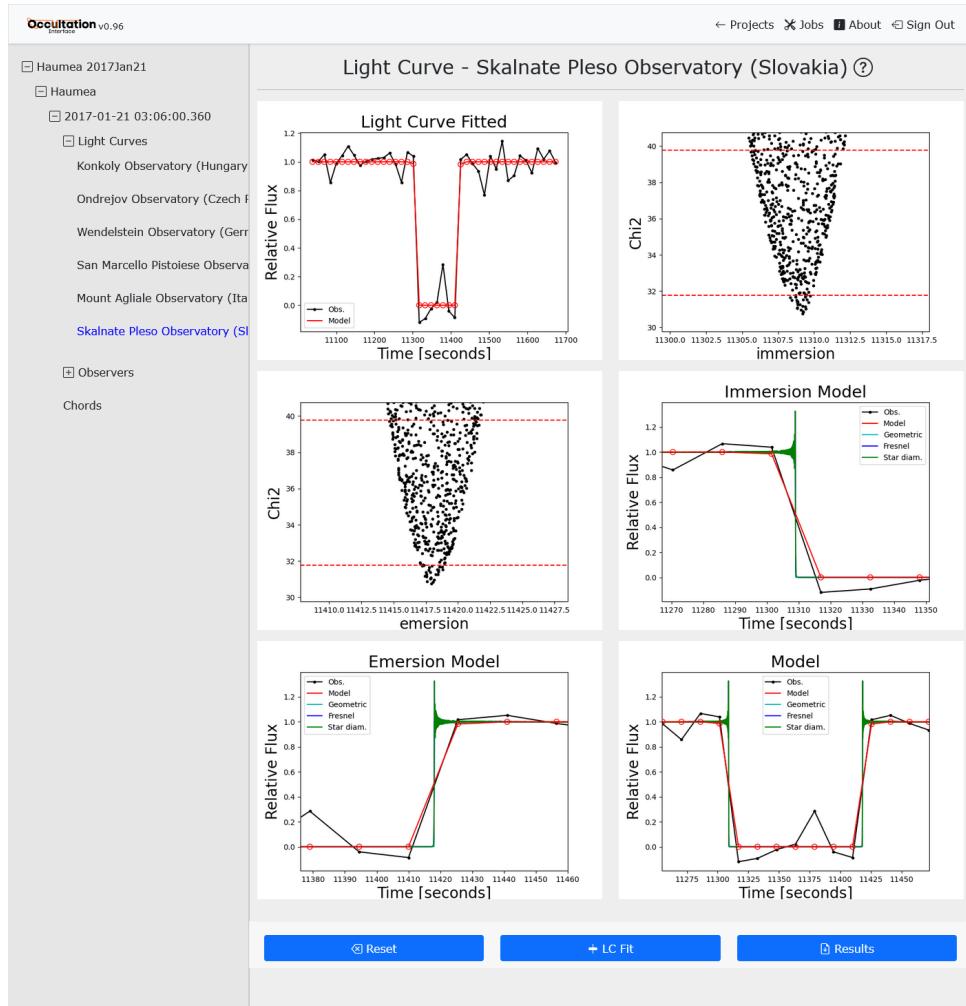


Figure 5.3: Curvas de luz e ajuste dos instantes da ocultação.

Nesta seção também é possível determinar e ajustar as configurações necessárias da estrela ocultada. Parte das características necessárias são automáticas mas podem ser escritas manualmente, como a magnitude aparente da estrela.

5.2.2.3 Observadores

Para a subseção de observadores basta saber que cada observação é naturalmente feita por um observador, e cada observador pode estar localizado em diferentes posições relativas ao evento. Logo é necessário que para cada curva, se associe um observador e sua posição, para entender a geometria do problema. Pode-se adicionar quantos observadores sejam necessários desde que se saiba suas coordenadas e altitude. A página será como mostra a Figura 5.4

Site Name	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Edit	Remove
Skalnate Pleso Observatory (Slovakia)	49:11:21.8 N	20:14:02.1 E	1786		
Konkoly Observatory (Hungary)	47:55:01.33 N	19:53:41.69 E	946		
Ondrejov Observatory (Czech Republic)	49:54:55 N	14:46:52 E	500		
Wendelstein Observatory (Germany)	47:42:13.6 N	12:00:44.0 E	1838		
San Marcello Pistoiese Observatory (Italy)	44:03:51 N	10:48:14.0 E	970		
Mount Agliale Observatory (Italy)	43:59:43.1 N	10:30:53.4 E	758		

Figure 5.4: Página de Observadores.

5.2.2.4 Cordas

Uma corda é a projeção no plano do céu da ocultação de uma curva de luz, com seus instantes de desaparecimento e reaparecimento da estrela, a partir de sua associação com um observador. Ao registrar uma corda então se cria uma relação entre Curva de luz e Observador e define-se uma cor de representação da curva. Adicionadas, as cordas podem ser projetadas no plano celeste pela aplicação e configurado pela ferramente de *plot*, caso necessário.

Podemos ainda fazer o ajuste de uma elipse às cordas configuradas para uma estimativa do corpo estudado. Caso uma elipse não possa ser definida, uma família será plotada em forma de uma sombra. Ao fim, teremos uma página que se assemelha à 5.5

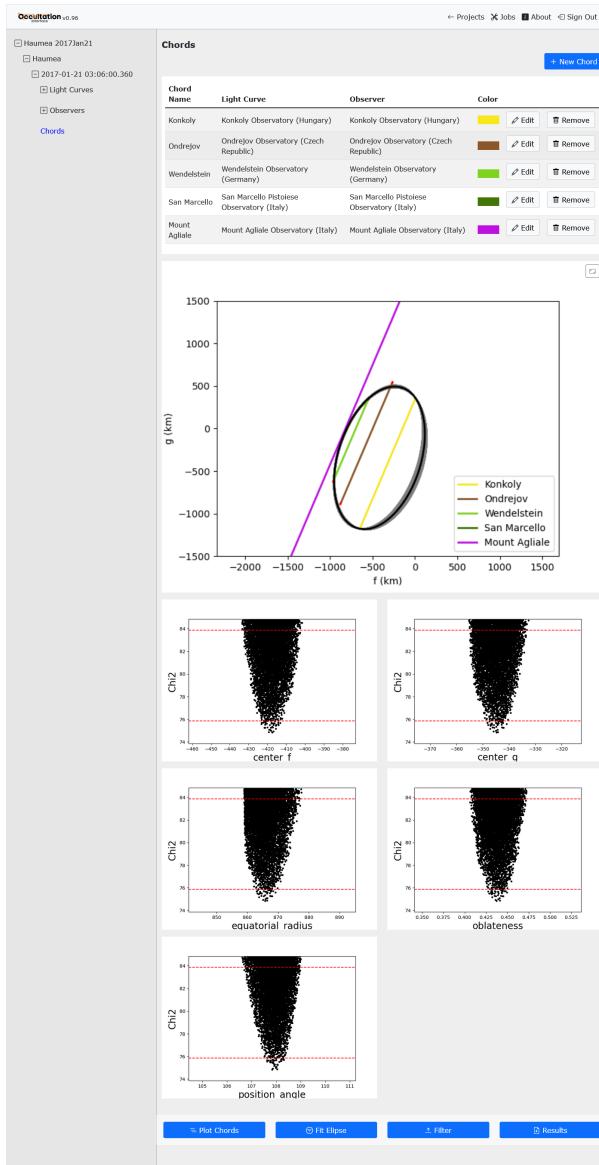


Figure 5.5: Página com as cordas e os gráficos de ajuste de χ^2 .

5.2.3 Documentação

A documentação de uso da interface também está sendo desenvolvida e cobrirá toda a extensão da interface, oferecendo instruções de uso e exemplos. A documentação pode ser encontrada em [GitHub Occultin \(2022\)](#). Uma versão é compilada e publicada a partir da aplicação do *Read The Docs*³.

³mais informações em [Read The Docs \(2022\)](#)

Chapter 6

Conclusões e Perspectivas

Em conclusão, a interface parece cumprir sua proposta. A existência de páginas com fluxo bem definido e campos bem indicados para os parâmetros necessários facilita, e acelera em muito o processo de predição e redução a ser realizado. É da opinião do autor deste texto que, nestes aspectos, a plataforma adiciona muito à estrutura anterior de execução destes processos onde se realiza-se tudo interagindo diretamente com a biblioteca do *SORA* por exemplo. É claro, pelos processos possíveis de serem realizados serem predefinidos na criação da interface e o tempo de projeto ter sido breve, algumas limitações se impõem. É possível pensar em casos de aplicação onde o usuário, experiente com esse tipo de fenômeno, pode se sentir limitado pela falta de flexibilidade que ele teria criando o próprio *script*. É clado que esse trabalho foi um projeto de *kickstart* e que, futuramente, pode ser desenvolvido, atualizado e implementado outras funcionalidades na interface, que facilite o uso para astrônomos mais experientes, além de adaptar novas funcionalidades do SORA. Apesar disso, esse problema não deve existir para aplicações mais rotineiras da plataforma. Neste sentido, considerando a proposta inicial do projeto de tornar acessível e mais rápido o processo realizado agora pelo Occultin, a interface se sai bem.

Ainda que a interface possibilite a inserção de múltiplos corpos para a realização de predições, existem limitações neste processo. Só é possível determinar uma magnitude limitante e um intervalo de tempo para cada projeto. Não é possível separar, pelo forma que foi estruturado o projeto, por corpos as configurações de predição. Isso pode prejudicar predição de conjuntos de corpos em que algum esteja em campo de grande concentração de estrelas e outro em campo de baixa densidade, já que poderiam exigir intervalos e magnitudes distintas para bons resultados. Para resolver essa limitação teria que se refatorar a estruturação do projeto e desassociar a predição à criação do projeto, para

que pudesse executar múltiplas distintas no mesmo projeto.

Além disso, não foi possível, no cronograma, tomar tempo depois da estruturação do Occultin para documentar o *software* desenvolvido pela empresa contratada. Neste sentido, ainda falta a realização desta documentação para que o código seja completamente comprehensível e possa sofrer manutenção com menos esforços no futuro. É ainda necessário fazer a correção dos previstos erros que surgirão com novos usuários da plataforma.

Uma versão para o sistema operacional da *Apple*, uma vez que pode ser a situação de muitos possíveis usuários, que até agora, teriam que usar a aplicação em modo de servidor em uma máquina do sistema operacional Linux para que fosse possível acessar da máquina pessoal da *Apple*. Por fim, é ainda desejável que a interface seja integrada ao sistema de ferramentas científicas do Linea e possa ser utilizada por qualquer um executada no servidor da organização.

Agradecimentos

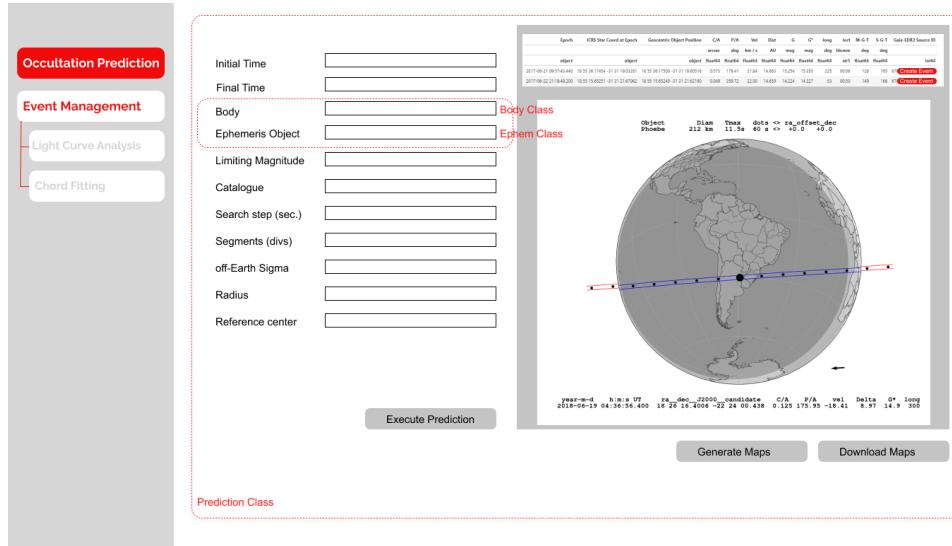
Esse trabalho foi viabilizado por meio do “Preparando para Astrofísica com o Programa LSST”, apoiado pela Fundação Heising-Simons e administrado pelo Observatório Las Cumbres.

This work was made possible through the “Preparing for Astrophysics with LSST Program”, supported by the Heising-Simons Foundation and managed by Las Cumbres Observatory.

Appendix A

Planejamento do OccultIN

Mostramos aqui imagens geradas no planejamento da plataforma. De como se idealizou inicialmente a distribuição do OccultIN. A aplicação seria separada em 3 telas. Os planos de telas para a interface são mostrados na Fig. A.1.



(a) Tela de Predição.

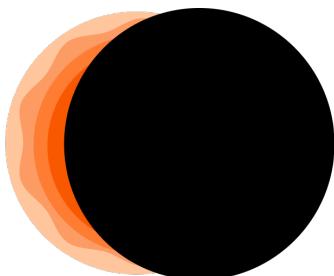
Figure A.1: Plano para telas da aplicação.

**Figure A.1:** Plano para telas da aplicação.

Appendix B

Versão mais atual do OccultIN

Mostramos aqui telas geradas no desenvolvimento da plataforma. De como se realizaram na última versão de distribuição do OccultIN. A identidade visual e logos¹ estão em B.1.



(a) Ícone da interface.



(b) Logo principal da interface.



(c) Logo simplificado da interface.



(d) Nome estilizado para a interface

Figure B.1: Identidade visual interface.

O fluxo de predição é mostrado na Fig. B.2

¹Arte desenvolvida por Ferreira, P. R, Mestranda na Universidade de São Paulo

(a) Primeiro passo do processo de predição.

(b) Segundo passo do processo de predição.

#	Solar System Object	Radius (Km)	Actions
1	Pluto	1188.3	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Remove"/>
2	Eris	1163	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Remove"/>
3	Ceres	469.7	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Remove"/>
4	Makemake	715	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Remove"/>
5	Haumea	0	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Remove"/>

(c) Terceiro passo do processo de predição.

(d) Quarto passo do processo de predição.

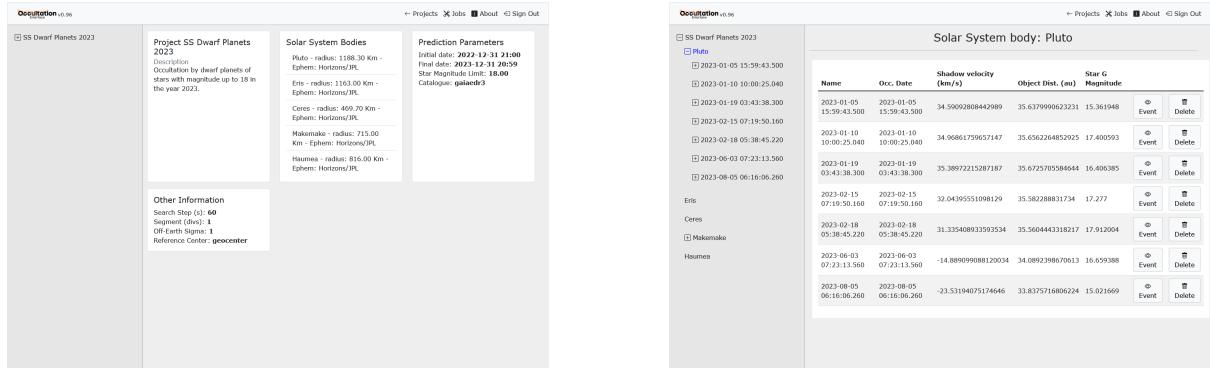
Figure B.2: Processo de predição de ocorrências.

Após feita a predição, a página principal da aplicação é mostrada. Dentro de um projeto veremos as telas como mostradas na Fig. B.3. Todos os processos dentro da aplicação podem ser acompanhados pela fila de *Jobs* na Fig. B.3d.

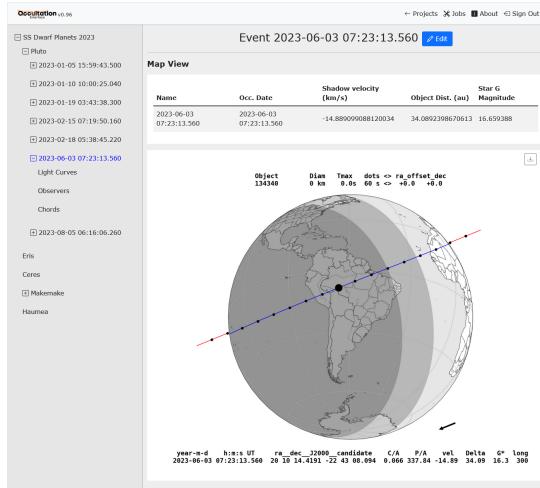
25

Relatório de projeto de IC - Jan2022-Jul2022

João Victor Alcantara Pimenta

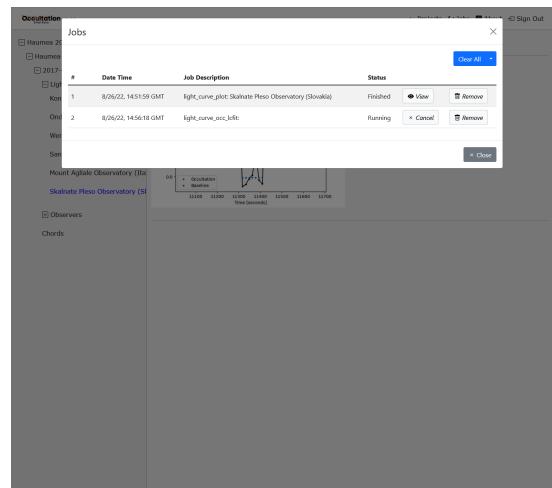


(a) Página principal da aplicação



(c) Ocultação encontrada para Plutão.

(b) Ocultações encontradas para Pluto.



(d) Fila de acompanhamento de processos.

Figure B.3: Processo de predição de ocultações.

Ainda temos as telas de Curvas de Luz mostrada na Fig. B.4, Observadores na Fig. B.5 e Cordas na Fig. B.6.

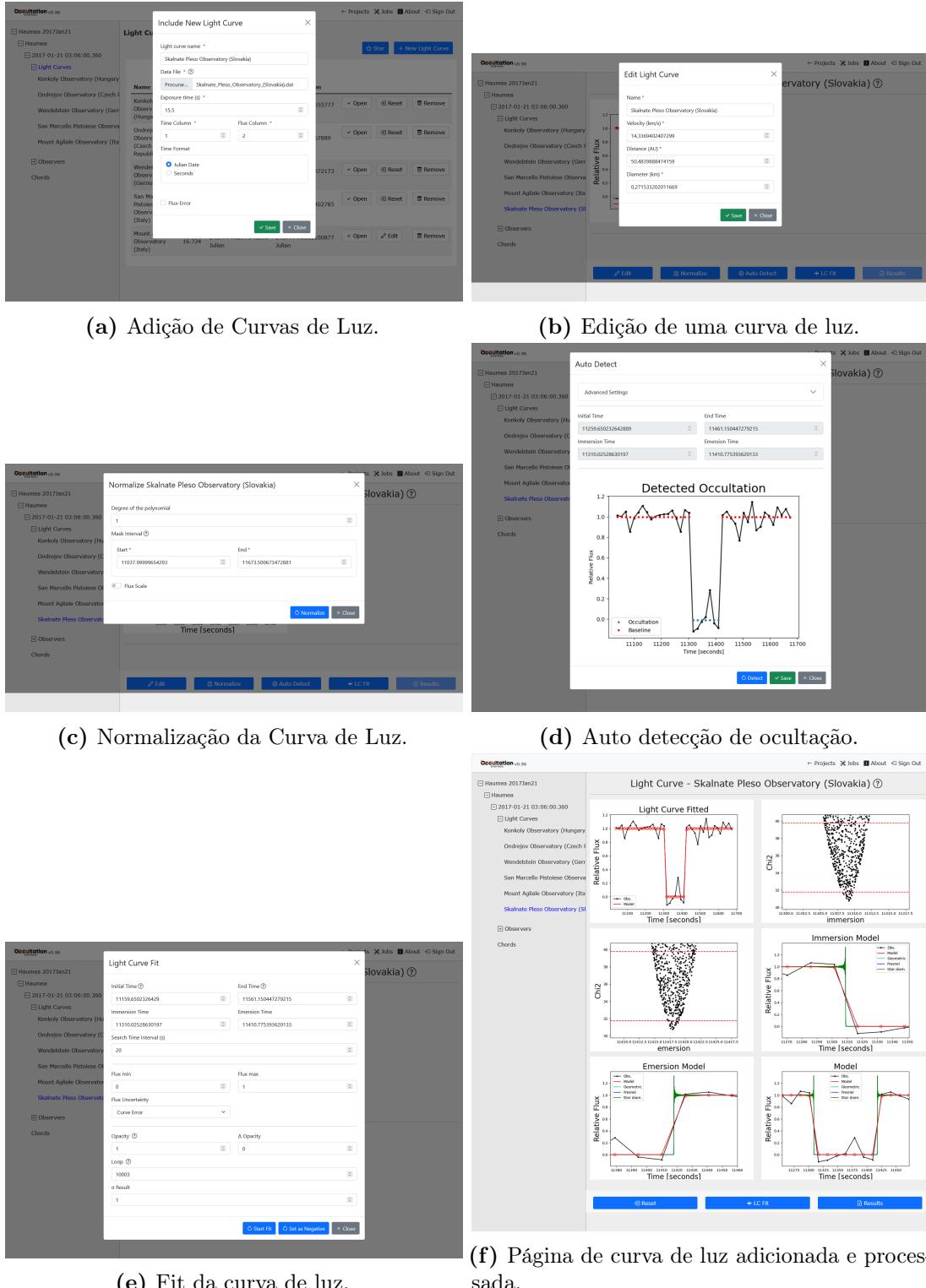
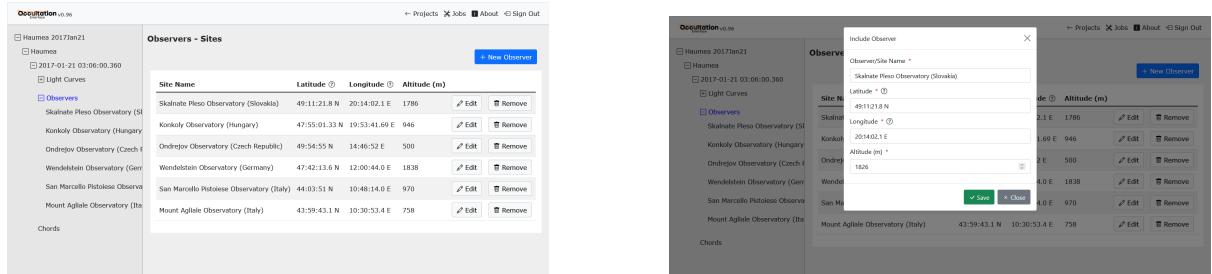


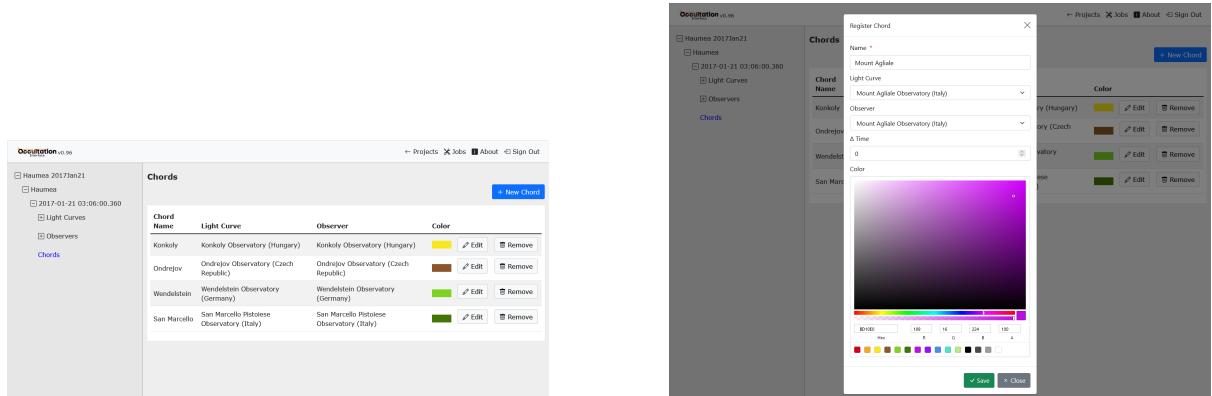
Figure B.4: Telas de Curvas de Luz.



(a) Observadores adicionados a uma oclusão.

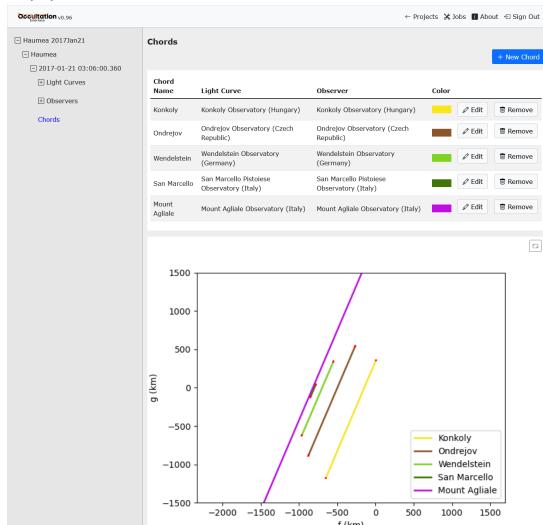
(b) adição de observador à oclusão

Figure B.5: Telas de Observadores.

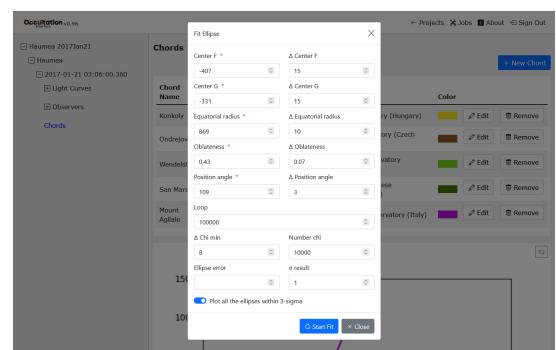


(a) Cordas adicionadas à página de cordas.

(b) Adição de cordas.

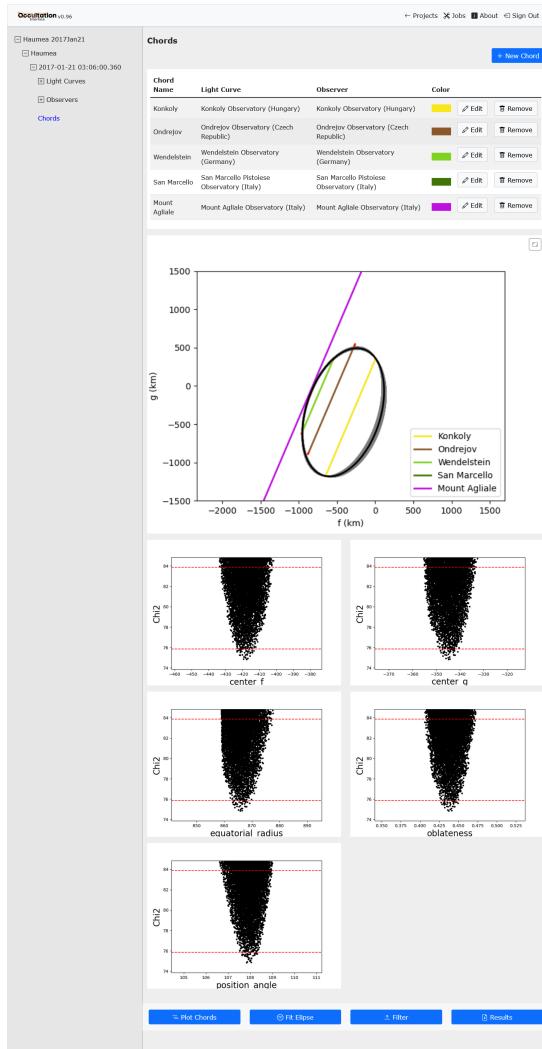


(c) Cordas projetadas no plano celeste.

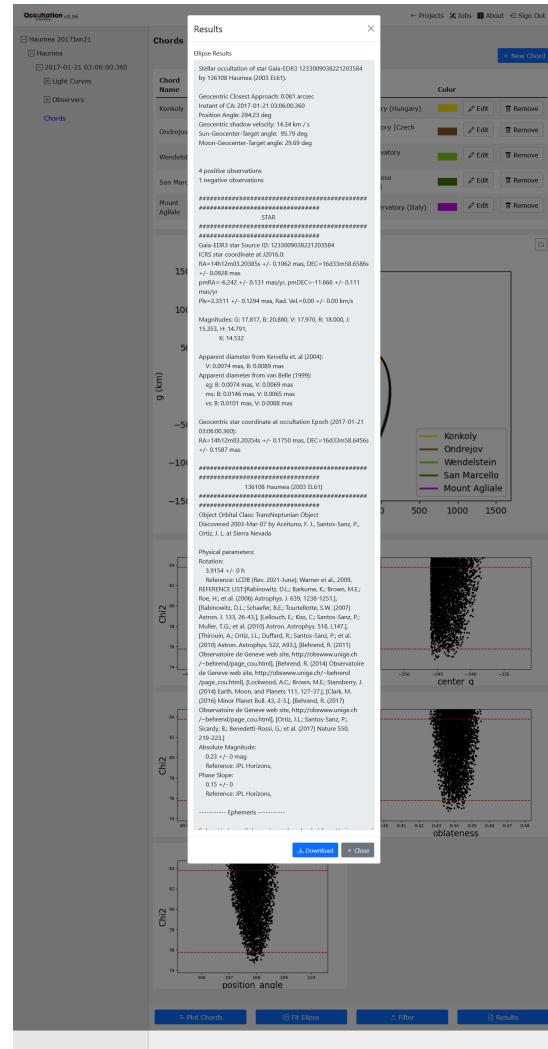


(d) Fit de Elipses referentes ao formato do corpo.

Figure B.6: Telas de Cordas.



(e) Aspecto final dos fits e plots relacionados



(f) Resumo dos resultados da redução.

Figure B.6: Telas de Cordas.

Bibliography

Željko Ivezić, and the LSST Science Collaboration, “The LSST System Science Requirements Document’ (2018)

Braga-Ribas, F., Crispim, A., Vieira-Martins, R., Sicardy, B., Ortiz, J. L., Assafin, M., Camargo, J. I. B., Desmars, J., Lecacheux, J., Santos-Sanz, P., Duffard, R., Benedetti-Rossi, G., Gomes-Júnior, A. R., Morgado, B., Rommel, F. L., Margot, G., Pereira, C. L. (2019). Database on detected stellar occultations by small outer Solar System objects. Em *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1365, Issue 1, p. 012024). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1365/1/012024>

Gomes-Júnior, A. R., Morgado, B. E., Benedetti-Rossi, G., Boufleur, R. C., Rommel, F. L., Banda-Huarca, M. V., Kilic, Y., Braga-Ribas, F., Sicardy, B. (2022). SORA: Stellar occultation reduction and analysis. Em *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (Vol. 511, Issue 1, p. 1167–1181). Oxford University Press (OUP). <https://doi.org/10.1093/mnras/stac032>

Braga-Ribas, F., Sicardy, B., Ortiz, J. L., Snodgrass, C., Roques, F., Vieira-Martins, R., Camargo, J. I. B., Assafin, M., Duffard, R., Jehin, E., Pollock, J., Leiva, R., Emilio, M., Machado, D. I., Colazo, C., Lellouch, E., Skottfelt, J., Gillon, M., Ligier, N., ... Lambas, D. G. (2014). A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo. Em *Nature* (Vol. 508, Issue 7494, p. 72–75). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/nature13155>

Ortiz, J. L., Santos-Sanz, P., Sicardy, B., Benedetti-Rossi, G., Bérard, D., Morales, N., Duffard, R., Braga-Ribas, F., Hopp, U., Ries, C., Nascimbeni, V., Marzari, F., Granata, V., Pál, A., Kiss, C., Pribulla, T., Komžík, R., Hornoch, K., Pravec, P., ... Iglesias-Marzoa, R. (2017). The size, shape, density and ring of the dwarf planet Haumea from

a stellar occultation. Em Nature (Vol. 550, Issue 7675, p. 219–223). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/nature24051>

Dias-Oliveira, A., Sicardy, B., Ortiz, J. L., Braga-Ribas, F., Leiva, R., Vieira-Martins, R., Benedetti-Rossi, G., Camargo, J. I. B., Assafin, M., Gomes-Júnior, A. R., Baug, T., Chandrasekhar, T., Desmars, J., Duffard, R., Santos-Sanz, P., Ergang, Z., Ganesh, S., Ikari, Y., Irawati, P., ... Wortmann, G. (2017). Study of the Plutino Object (208996) 2003 AZ84 from Stellar Occultations: Size, Shape, and Topographic Features. Em The Astronomical Journal (Vol. 154, Issue 1, p. 22). American Astronomical Society. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aa74e9>

Rommel, F. L., Braga-Ribas, F., Vara-Lubiano, M., Ortiz, J. L., Desmars, J., Morgado, B. E., Benedetti-Rossi, G., Sicardy, B., Vieira-Martins, R., Camargo, J. I. B., Santos-Sanz, P., Morales, N., Duffard, R., Fernández-Valenzuela, E., Margot, G., Assafin, M., Pereira, C. L., Kilic, Y., ... Frappa, E. (2021). Evidence of topographic features on (307261) 2002 MS4 surface. Copernicus GmbH. <https://doi.org/10.5194/epsc2021-440>

ENDEREÇOS ELETRÔNICOS

SORA DOCS → disponível em: <<https://sora.readthedocs.io/>> [Acessado em 19 de Agosto de 2022]

Wget → disponível em: <<https://www.gnu.org/software/wget/>> [Acessado em 27 de Agosto de 2022]

Executável Occultin Windows → disponível em: <<https://www.11tech.com.br/SORA/Install-Occultin-Windows-0.96.exe>> [Acessado em 27 de Agosto de 2022]

Horizons/JPL → disponível em: <<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/>> [Acessado em 27 de Agosto de 2022]

GitHub OccultIN → disponível em: <<https://github.com/linea-it/occultation-hs>> [Acessado em 27 de Agosto de 2022]

Read The Docs → disponível em: <<https://readthedocs.org/>> [Acessado em 27 de Agosto de 2022]

Sphinxs → disponível em: <<https://www.sphinx-doc.org/en/master/index.html>>
[Acessado em 29 de Agosto de 2022]