



## Aferição de cameras astronômicas para observação de ocultações estelares

### Characterization of astronomical cameras for observation of stellar occultations

Eduardo Fonseca Morato <sup>1</sup>, Felipe Braga-Ribas <sup>2</sup>

#### RESUMO

A ocultação estelar é um fenômeno em que o fluxo de luz de uma estrela é bloqueado com a passagem de um corpo celeste, evento esse que é utilizado para estudar pequenos corpos do sistema solar. Esse método está sujeito a erros sistemáticos na marcação de tempo da câmera utilizada. O presente trabalho visa caracterizar o registro de tempo de três câmeras e de um telescópio inteligente por meio do uso do dispositivo SExTA (*Southern Exposure Time Analyzer*), a fim de identificar possíveis erros. Esse dispositivo consiste em uma matriz de LED sincronizada com o tempo Tempo Universal Coordenado (UTC-*Coordinated Universal Time*). O tempo obtido com uma imagem desse dispositivo é usado para comparar com o tempo registrado pela câmera no cabeçalho da imagem, identificando possíveis desvios e discrepâncias. A análise é feita por meio de gráficos onde os tempos registrados pelas câmeras são comparados com aqueles registrados pelo SExTA, a fim de analisar o comportamento do registro de tempo ao longo de uma bateria de imagens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cameras astronômicas; Ocultações estelares; Tempo Universal Coordenado.

#### ABSTRACT

A stellar occultation is an astronomical event wherein the transit of a celestial body blocks the flux of a background star. Observations of such events are used for studying small bodies of the Solar System. This method is subjected to systematic errors from the time stamping of the utilized camera. The present work aims to characterize the time-stamping of three cameras and one smart telescope using the SExTA (*Southern Exposure Time Analyzer*) device in order to identify potential errors. This device consists of an LED matrix synchronized with the Coordinated Universal Time (UTC). The time obtained from an image of this device is used to compare to the time registered at the image's header by the camera, identifying potential discrepancies. The analysis is presented with plots where the differences between the time registered by the cameras and the time provided by SExTA are compared in order to analyze the behavior of the time-stamping over a range of frames.

**KEYWORDS:** Astronomical cameras; Stellar occultations; Coordinated Universal Time.

<sup>1</sup> Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: morato@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3359081449275741.

<sup>2</sup> Docente no Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia (PPGFA-CT). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: fribas@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4507592951614239.



## INTRODUÇÃO

A ocultação estelar é um fenômeno em que o fluxo de luz de uma estrela é bloqueado com a passagem de um corpo celeste. Por meio da duração precisa do evento, observada em diferentes locais, é possível determinar a forma e tamanho do objeto ocultador. Além disso, também pode-se detectar a eventual existência de atmosfera, satélites ou anéis ao redor do objeto [1]. Ao observar este evento, a diferença entre o instante em que o objeto começa a ocultar a estrela e o instante em que a luz começa a reaparecer nos dá a duração do evento e então com esses dados é gerada uma representação gráfica, chamada de "corda", utilizada para definir o formato e tamanho do objeto. Portanto, a marcação de tempo destes fenômenos precisa ser a mais confiável possível.

Logo, a fim de evitar que erros sistemáticos da marcação de tempo sejam propagados, é necessário corrigi-los antes do tratamento de dados. Para tal, foi proposto o dispositivo chamado *Southern Exposure Time Analyzer* (SEXTA), que é composto por uma matriz de 500 LEDs que são acesos sequencialmente, um de cada vez, sendo sincronizado com o *Universal Time Coordinated* (UTC) [2, 3]. Esse dispositivo é, então, usado para realizar capturas com uma câmera para aferir sua marcação de tempo. Este trabalho descreve o uso desse dispositivo para o aferimento de tempo com as câmeras QHY174M-GPS, ASI120MC-S e Raptor e com o telescópio da Unistellar<sup>1</sup> modelo eVscope 1 (*enhanced vision telescope*).

## METODOLOGIA

As câmeras estudadas são câmeras de sensor CCD (*charge-coupled device*) ou CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*), em que um software fica responsável pela leitura de dados da camera para gerar a imagem, pelo ajuste do tempo de exposição e por inserir informações sobre a captura no cabeçalho da imagem. A aquisição do tempo UTC nessas câmeras pode ser feita com a utilização de uma antena GPS (*Global Positional System*) externa ou utilizando o tempo registrado pelo computador.

O dispositivo chamado de *Southern Exposure Time Analyzer*, abreviado como SEXTA, é um dispositivo desenvolvido para o aferimento do timestamp de câmeras, que consiste em uma matriz de 500 LEDs que serão acesos sequencialmente e o tempo em que cada LED fica aceso é sempre o mesmo. Ao atribuímos esse tempo em que os LEDs ficam acesos à cada um dos LEDs da imagem, é possível determinar a duração do tempo de exposição de uma captura da matriz, assim como o tempo de início da exposição, para então comparar com os tempos registrados na header da imagem e determinar as discrepâncias. O dispositivo também possui um display que mostra o horário UTC para que seja possível

---

<sup>1</sup> <https://www.unistellar.com/>



identificar a hora e o minuto da captura, já que pela matriz é possível identificar apenas o segundo em que a imagem foi capturada. O tempo mostrado pelo dispositivo corresponde ao tempo recebi pela antena GPS à ele acoplada, portanto apresentando o Tempo Universal Coordenado.

Foram realizadas diversas capturas da matriz de LEDs, com diferentes tempos de exposição, para verificar se os tempos registrados nas headers correspondiam ao solicitado via software. Para fazer essa comparação, os LEDs apagados antes do primeiro LED aceso são contados, obtendo a fração de segundo em que foi dado o início da exposição. Com a contagem dos LEDs acesos é obtida a duração da exposição. É possível também perceber se o tempo registrado se equivale ao início ou ao fim da exposição. Os tempos registrados nessas capturas foram usados em um código em Python que gera gráficos que mostra a variação da duração do tempo entre cada imagem e do ciclo (tempo de exposição somado ao tempo de leitura de cada imagem).

## RESULTADOS

O estudo realizado com a QHY174M mostrou que as discrepâncias entre os tempos registradas pela câmera e pelo SExTA foram relativamente pequenas e a duração da exposição não teve discrepâncias. A seguir estão dois exemplos de gráficos gerados que mostram a variação da duração do tempo de exposição e do tempo entre imagens de uma bateria de capturas com exposição teórica de 0,3 segundos. Por meio desses gráficos é possível notar a presença de perdas de imagens através dos picos de tempo de leitura (ocioso).

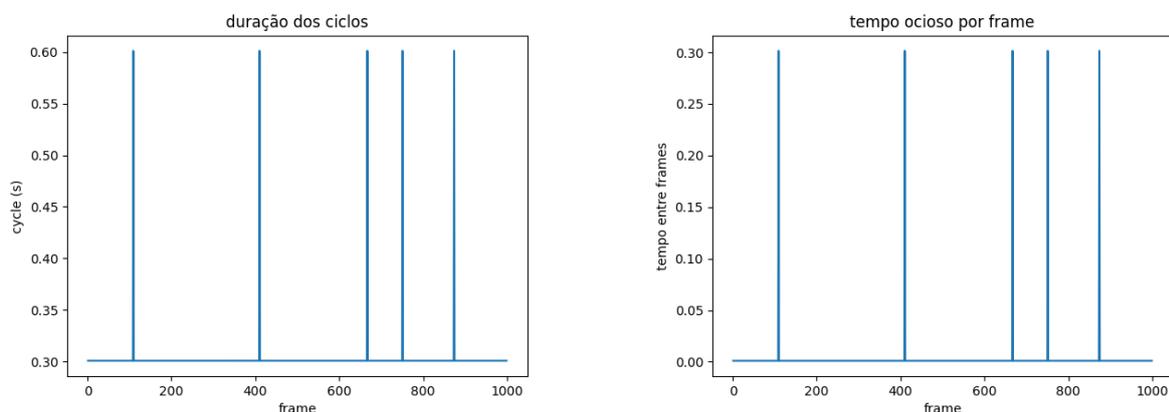


Figura 1 – Gráfico obtido com tempos registrados pela câmera QHY174M.

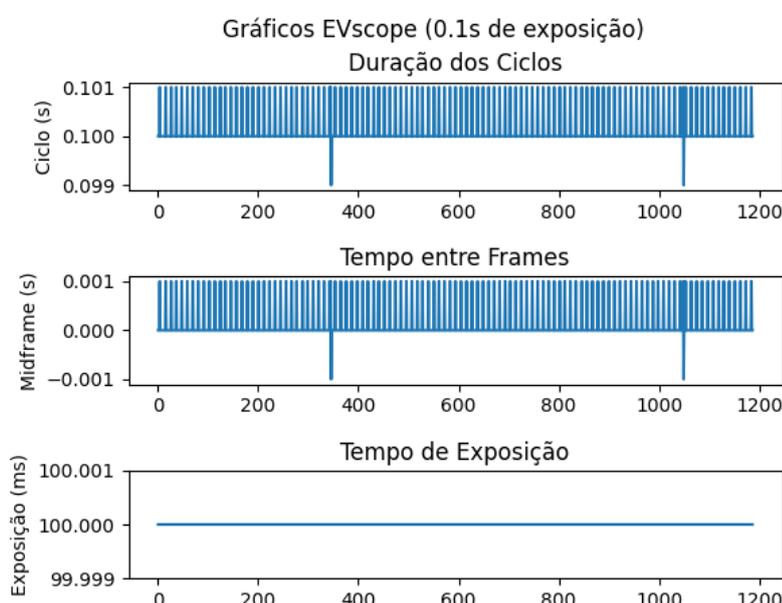
Fonte: Autoria própria (2023)

Além disso, foi possível perceber que o tempo registrado na header é o tempo de início da exposição. Por fim, outro resultado foi descobrir a máxima frequência de imagens



da câmera, pois ao reduzir a exposição abaixo de 80 milissegundos, a duração do ciclo se manteve próximo a 80 ms, com o tempo do meio da imagem compensando a redução do tempo de exposição.

Os resultados obtidos pelo eVscope foram parecidos com os da QHY174M, com o tempo registrado sendo o início da exposição, com pequenas discrepâncias. Pelo gráfico gerado com os dados do eVscope, é possível notar que a curva da duração do ciclo acompanha o tempo entre frames, ou seja, a exposição é praticamente constante e a única variação no ciclo ocorre por conta da variação do tempo entre frames, provavelmente relacionado ao processamento das imagens.



**Figura 2 – Gráficos gerados com dados obtidos com o eVscope, mostrando uma variação da duração do ciclo de apenas 1% do tempo de exposição.**

Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados obtidos com a camera ASI120MC-S foram inconclusivos, pois a discrepância observada com relação ao SExTA não apresentou um padrão significativo. Segue abaixo uma tabela com esses resultados.

**Tabela 1 – Resultados da ASI (2,0 s de exposição)**

Perfil usado	Tempo da header (s)	Tempo do SExTA (s)	$\Delta T$
raw8	6,7169	6,66	0,057
raw16	49,0923	49,04	0,052
mono8	17,5710	17,80	-0,229
rgb24	1,7756	1,70	0,076
firecapture	57,7560	57,76	-0,004

Fonte: Autoria própria (2023)



# XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão  
20 a 23 de novembro de 2023 - Campus Ponta Grossa, PR



SEI-SICITE  
2023

Por fim, com os testes realizados com a câmera Raptor foi possível notar um limite de frequência da câmera, assim como na QHY174M, esse limite sendo próximo de 25 frames por segundo ( $\sim 0,04$  s). Também foi possível notar que quando operando nos tempos de exposição abaixo que ultrapassem esse limite, a duração da exposição e o tempo registrado apresentam maiores discrepâncias com relação ao SExTA. Por fim, também foi possível perceber que a tempo registrada por essa câmera corresponde ao tempo da final da exposição da próxima imagem. Esse resultado pode ser observado na tabela abaixo.

**Tabela 2 – Resultados da Raptor (tempo registrado no cabeçalho)**

Total de imagens	Tempo de exposição (s)	Timestamp (s)	SExTA (s)	$\Delta T$ (s)
1500	0,020	56,742	56,588	0,154
2400	0,025	02,887	01,134	1,753
2000	0,030	15,370	14,600	0,770
1500	0,040	15,884	15,454	0,430
1200	0,050	11,719	10,534	1,185
1200	0,100	17,923	16,632	1,291
900	0,200	05,956	05,560	0,396
480	0,500	32,724	31,720	1,004
300	1,000	22,775	20,780	1,995
150	2,000	33,774	29,780	3,994

Fonte: Autoria própria (2023)

## CONCLUSÃO

A compreensão do comportamento das câmeras e do registro do tempo em seu cabeçalho é importante para evitar que erros instrumentais sejam propagados durante a análise das imagens feitas por tais câmeras. Logo, o dispositivo SExTA cumpre bem esse papel, possibilitando ao usuário ter uma melhor compreensão das incertezas atribuídas à câmera, tanto com relação à variação da duração da exposição, quanto com relação à variação e desvios do tempo registrado.

Por meio dos testes realizados foi possível encontrar um desvio de duas vezes o tempo de exposição no tempo registrada pela câmera Raptor, uma informação valiosa ao se usar essa câmera, pois ao tratar os dados sem ter a ciência dessa discrepância, a corda gerada teria um deslocamento em relação à sua posição real. Além disso, outra informação importante foi a descoberta de uma frequência máxima de frames para as câmeras QHY174M e Raptor, que possuem um tempo de leitura maior quando o tempo de exposição utilizado for menor que um certo limite.

Por fim, a câmera ASI120MC-S apresentou um erro considerável e aleatório, possivelmente resultado da forma que essa câmera obtém o tempo a ser registrado (pela conexão



com a internet [4]) e o eVscope apresentou uma acurácia ótima, sem grandes discrepâncias.

Posteriormente, a segunda parte desse projeto será focada no desenvolvimento de um dispositivo de astrometria embarcada em Raspberry PI, este que já está em desenvolvimento. Este dispositivo tem por objetivo ser um aparelho móvel capaz de se conectar com diferentes modelos de montagens, utilizando as imagens feitas por uma câmera e processadas por um software interno para realizar a astrometria e enviar as informações obtidas para a montagem.

## Agradecimentos

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo do Programa de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico (PIBIT), à Fundação Araucária (FA – Paraná/Brasil) pela bolsa de iniciação tecnológica e ao meu orientador, Prof. Dr. Felipe Braga Ribas, pelos ensinamentos durante este período.

## Disponibilidade de Código

O código usado para geração dos gráficos deve sempre ser alterado de câmera para câmera, pois cada câmera tem um padrão específico de header. A última versão do código é uma versão para ler o cabeçalho das imagens do eVscope e está disponível no GitHub pelo link: <https://github.com/oEduFon/Timestamp-Graphs>.

## REFERÊNCIAS

- [1] RIBAS, F. B. **Exploration of the trans-neptunian objects by the stellar occultation method : predictions, observations, Quaoar and the first results**. 2013. Tese (Doutorado em Astronomia e Astrofísica) – Observatoire de Paris. Disponível em: [↗](#). Acesso em: 20 mai. 2023.
- [2] BARRY, M. A. T. et al. Verifying Timestamps of Occultation Observation Systems. **PASA**, v. 32, e014, e014, abr. 2015. DOI: [10.1017/pasa.2015.15](https://doi.org/10.1017/pasa.2015.15).
- [3] SILVA, D. J. d. **Dispositivo para o estudo do registro de tempo em cameras astronomicas**. [S.l.: s.n.], 2018.
- [4] WEBER, C. **SharpCap Timestamps and TANGRA**. Edição: IOTA/ES. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: [↗](#). Acesso em: 8 jun. 2023.