



Potencial astronómico das imagens SST

J. L. G. Sobrinho
josens@staff.uma.pt

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira
Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia
Universidade da Madeira, Campus da Penteada, 9020-105 Funchal
Outubro 2022

Resumo

O programa Space Surveillance and Tracking (SST) tem como objectivo central a monitorização e seguimento de *lixo espacial* em órbita terrestre potencialmente perigoso para as infraestruturas espaciais, para o acesso ao espaço bem como para a segurança das populações. No pico do Areeiro o projecto dispõe de dois telescópios óticos: um para operações de *tracking* e outro para operações de *surveillance*. As imagens obtidas pelos dois telescópios no âmbito das observações SST, embora com algumas limitações, podem ser exploradas também dentro do contexto da Astronomia. Este relatório aborda o potencial astronómico dessas mesmas imagens e traça, em linhas gerais, um plano para a criação futura de uma base de dados que possibilite a exploração dessas mesmas potencialidades.

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Caracterização das imagens SST	2
2.1	Astrometric STacking Program	5
2.1.1	Estrelas variáveis	6
2.1.2	Objectos não identificados	6
2.1.3	Asteroides	7
3	Potencial das imagens SST	9

4	Base de dados/imagens	11
5	Conclusões e trabalho futuro	13
	Referências	13

1 Introdução

O Space Surveillance and Tracking (SST) é um programa europeu que visa garantir à Europa independência e soberania, através de capacidade própria de monitorização, caracterização e seguimento de objetos que, deslocando-se em órbitas próximas à Terra, possam constituir um perigo real para as infraestruturas espaciais, para as missões de acesso e deslocação no espaço e para a segurança dos cidadãos por via da entrada na atmosfera desses mesmos objetos.

O consórcio Europeu de SST (EU SST) é composto por sete países, Espanha, França, Alemanha, Itália, Portugal, Polónia e Roménia, em parceria com o Centro de Satélites da União Europeia - EU SatCen. Em Portugal, a entidade gestora do programa SST é a Direção Geral de Recursos da Defesa Nacional (DGRDN) do Ministério da Defesa Nacional (MDN).

O centro de operações do programa SST-Pt está sediado na ilha Terceira na Região Autónoma dos Açores. Na Região Autónoma da Madeira o projecto dispõe de dois telescópios óticos instalados na zona do Pico do Areeiro. Um dos telescópios está vocacionado para operações de *surveillance* (descoberta de novos objectos) enquanto que o outro destina-se a operações de *tracking* (seguimento de objetos conhecidos).

A Universidade da Madeira (UMa) colabora no projecto, por intermédio do Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira (GAUMa), com a prestação de serviços de manutenção/monitorização dos equipamentos instalados no Sítio de Observação Ótica (SOO) situado no Pico do Areeiro.

As imagens obtidas pelos referidos telescópios podem, quando não classificadas, ser exploradas no âmbito da Astronomia. Neste relatório é feita uma caracterização das imagens SST (Secção 2) e explorados alguns aspetos relativos ao seu potencial e/ou limitações em termos de utilização na Astronomia Observacional (Secção 3). Na Secção 4 é apresentado em traços gerais um plano para a implementação de uma base de dados que permita a exploração dessas mesmas imagens no contexto da Astronomia. Por fim, na Secção 5 são apresentadas algumas conclusões e ideias para trabalho futuro.

2 Caracterização das imagens SST

O projecto SST dispõe, no chamado **Sítio de Observação Ótica** (SOO) situado no Pico do Areeiro, de dois telescópios, um para operações de *surveillance* e outro para operações de *tracking*. O telescópio de *surveillance* tem por objectivo descobrir novos objectos

em órbita terrestre pelo que permite cobrir uma zona do céu relativamente grande. O telescópio de tracking tem por objectivo seguir objectos conhecidos motivo pelo qual cobre uma área relativamente mais pequena.

As imagens obtidas com o telescópio de *surveillance* cobrem um campo de visão de $2.67^\circ \times 2.67^\circ$ e têm como resolução 2.35 segundos de arco por pixel [1]. Na Figura 1 é apresentada uma das imagens SST obtidas com o telescópio de surveillance com um tempo de exposição de 1.2 s. A estrela mais brilhante na imagem é γ -Lib (RA: 15h 35m 32s, δ : $-14^\circ 47' 22''$, magnitude aparente 3.91). As coordenadas do ponto central da imagem são:

- RA : 15h 33m 25s
- δ : $-14^\circ 38' 02''$

A distância entre o ponto central da imagem e as margens é de:

$$\frac{2.67^\circ}{2} = 1.335^\circ$$

Em termos de ascensão recta este valor corresponde a:

$$1.335^\circ = 5m 20.4s$$

No caso da declinação temos:

$$1.335^\circ = 1^\circ 20' 06''$$

Assim, para a imagem da Figura 1, correspondem as coordenadas:

Ponto	RA	δ
Canto superior esquerdo	15h 38m 46s	$-13^\circ 58' 15''$
Canto superior direito	15h 28m 04s	$-13^\circ 58' 15''$
Centro	15h 33m 25s	$-14^\circ 38' 02''$
Canto inferior esquerdo	15h 38m 46s	$-15^\circ 17' 49''$
Canto inferior direito	15h 28m 04s	$-15^\circ 17' 49''$

As imagens obtidas com o telescópio de *tracking* cobrem um campo de visão de $0.35^\circ \times 0.35^\circ$ e têm como resolução 1.19 segundos de arco por pixel [1]. Na Figura 2 é apresentada uma das imagens SST obtidas com o telescópio de tracking com um tempo de exposição de 0.85 s. Esta imagem cobre uma zona da constelação do Sagitário. A estrela assinalada na figura é TYC6309 – 2106 – 1 (RA: 19h 24m 50.6s, δ : $-21^\circ 08' 15.6''$, magnitude aparente 10.7) [2].

As coordenadas do ponto central da imagem são:

- RA : 19h 24m 59s
- δ : $-21^\circ 07' 58''$



Figura 1: Exemplo de imagem captada no dia 26 de abril de 2022 pelo telescópio de surveillance no âmbito das observações SST. O centro da imagem corresponde à ascensão reta $15h\ 33m\ 25s$ e à declinação de $-14^\circ\ 38'\ 02''$. A estrela mais brilhante na imagem é γ -Lib (RA: $15h\ 35m\ 32s$, δ : $-14^\circ\ 47'\ 22''$, magnitude aparente 3.91).

A distância entre o ponto central da imagem e as margens é de:

$$\frac{0.35^\circ}{2} = 0.175^\circ$$

Em termos de ascensão recta este valor corresponde a:

$$0.175^\circ = 41s$$

No caso da declinação temos:

$$0.175^\circ = 10'\ 09''$$

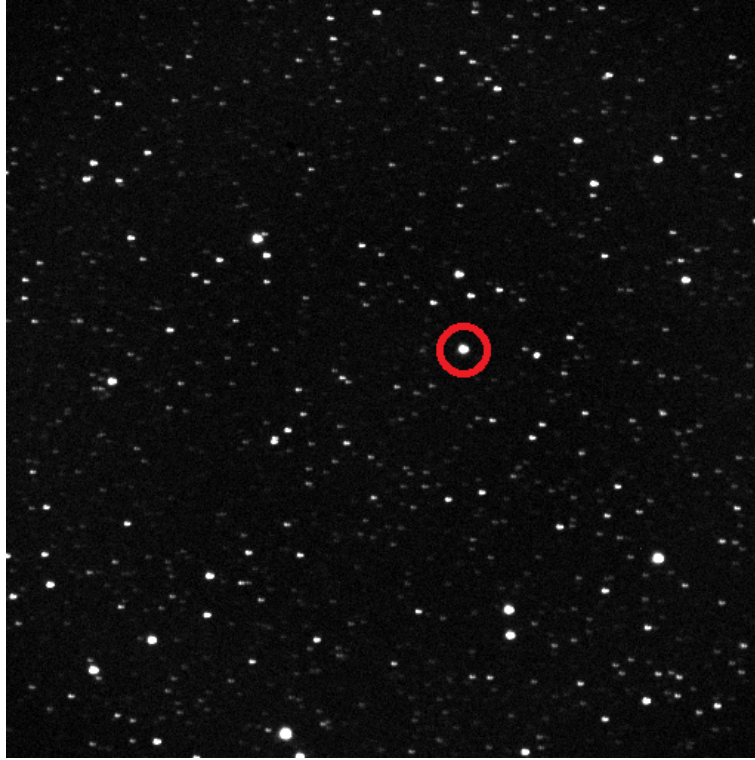


Figura 2: Exemplo de imagem captada no dia 24 de junho de 2022 pelo telescópio de tracking no âmbito das observações SST. O centro da imagem corresponde à ascensão reta $19^h 24^m 59s$ e à declinação de $-21^\circ 07' 58''$. A estrela assinalada na imagem é *TYC6309 – 2106 – 1* (RA: $19^h 24^m 50.6s$, δ : $-21^\circ 08' 15.6''$, magnitude aparente 10.7).

Assim, para a imagem da Figura 2, correspondem as coordenadas:

Ponto	RA	δ
Canto superior esquerdo	$19^h 25^m 40s$	$-21^\circ 18' 07''$
Canto superior direito	$19^h 24^m 18s$	$-21^\circ 18' 07''$
Centro	$19^h 24^m 59s$	$-21^\circ 07' 58''$
Canto inferior esquerdo	$19^h 25^m 40s$	$-22^\circ 57' 49''$
Canto inferior direito	$19^h 24^m 18s$	$-22^\circ 57' 49''$

2.1 Astrometric STacking Program

Existem diversas aplicações que permitem abrir, analisar e processar os ficheiros de imagem em formato FIT. O **the Astrometric STacking Program** (ASTAP) [3], por exemplo, é uma dessas aplicações. O ASTAP junta as funcionalidades de **astrometric plate solver**, stacking of images, photometry and FITs viewer.

Juntamente com a aplicação propriamente dita deve ser utilizada uma base de dados que permita identificar os objectos presentes na imagem. Estão disponíveis bases de dados para estrelas e objectos de céu profundo. No caso das imagens SST, dado o curto tempo de exposição (~ 1 s), podemos optar, por exemplo pela utilização da **Smaller star database**

- H17 [3].

Utilizando a aplicação ASTAP em conjunto com a base de dados H17 podemos identificar numa dada imagem as estrelas variáveis (Secção 2.1.1) bem como sinalizar objectos desconhecidos, ou seja, objectos não referenciados em H17 (Secção 2.1.2). Embora seja possível identificar também objectos de céu profundo esta opção torna-se pouco relevante dado o baixo tempo de exposição associado às imagens.

2.1.1 Estrelas variáveis

A aplicação ASTAP utilizada em conjunto com uma base de dados de estrelas (e.g. H17) permite identificar as estrelas variáveis presentes numa determinada imagem. Devem ser seguidos os passos:

- **Tools – Clean-up** [voltar à imagem original]
- **Tools – Variable Star annotation** [mostra as estrelas variáveis de acordo com a base de dados em utilização]
- **File – Save as JPEG, PNG or BMP** [guardar a imagem num formato à escolha]

No caso da imagem da Figura 1, utilizando a base de dados H17, é possível identificar 29 estrelas variáveis como se mostra na Figura 3.

Relativamente à imagem da Figura 2, a qual cobre uma área bastante inferior à representada na imagem da Figura 1 (cerca de 58 vezes menor), não foi identificada qualquer estrela variável.

2.1.2 Objectos não identificados

A aplicação ASTAP utilizada em conjunto com uma base de dados de estrelas (e.g. H17) permite sinalizar os objectos desconhecidos (por não fazerem parte da base de dados em utilização) presentes numa determinada imagem. Devem ser seguidos os passos:

- **Tools – Clean-up** [voltar à imagem original]
- **Tools – Unknown Star annotation** [mostra os objectos não identificados de acordo com a base de dados em utilização]
- **File – Save as JPEG, PNG or BMP** [guardar a imagem num formato à escolha]

No caso da imagem da Figura 1 a aplicação ASTAP sinaliza seis objectos que não constam da base de dados H17 (ver Figura 4).

Relativamente à imagem da Figura 2, a aplicação ASTAP sinalizou três objectos que não constam da base de dados H17 (ver Figura 5). Tratando-se de uma imagem de tracking podemos concluir que pelo menos um destes objetos estará referenciado como sendo um partícula de lixo espacial.

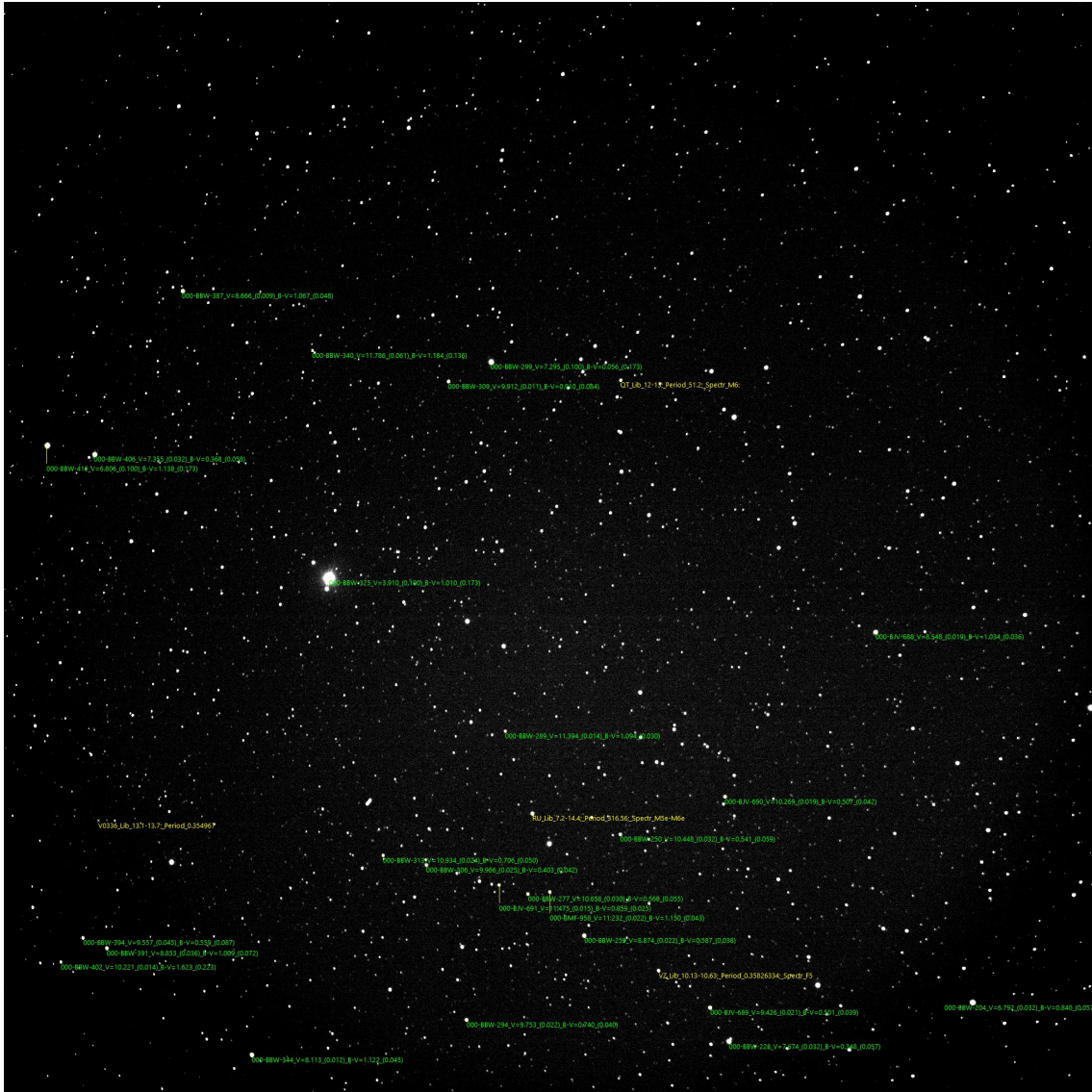


Figura 3: Identificação das estrelas variáveis presentes na imagem apresentada na Figura 1 de acordo com a base de dados H17.

2.1.3 Asteroides

A aplicação ASTAP utilizada em conjunto com a **The MPC Orbit (MPCORB) Database** permite identificar os asteroides presentes numa determinada imagem. O ficheiro MPCORB.dat deve ser descarregado do **Minor Planet Center (MPC)** previamente [4, 5]. Adicionalmente pode também ser descarregado do MPC uma base de dados sobre cometas (CometEls.txt) [6]. Devem ser seguidos os passos:

- **Tools – Clean-up** [voltar à imagem original]
- **Tools – Asteroid & comet annotation**

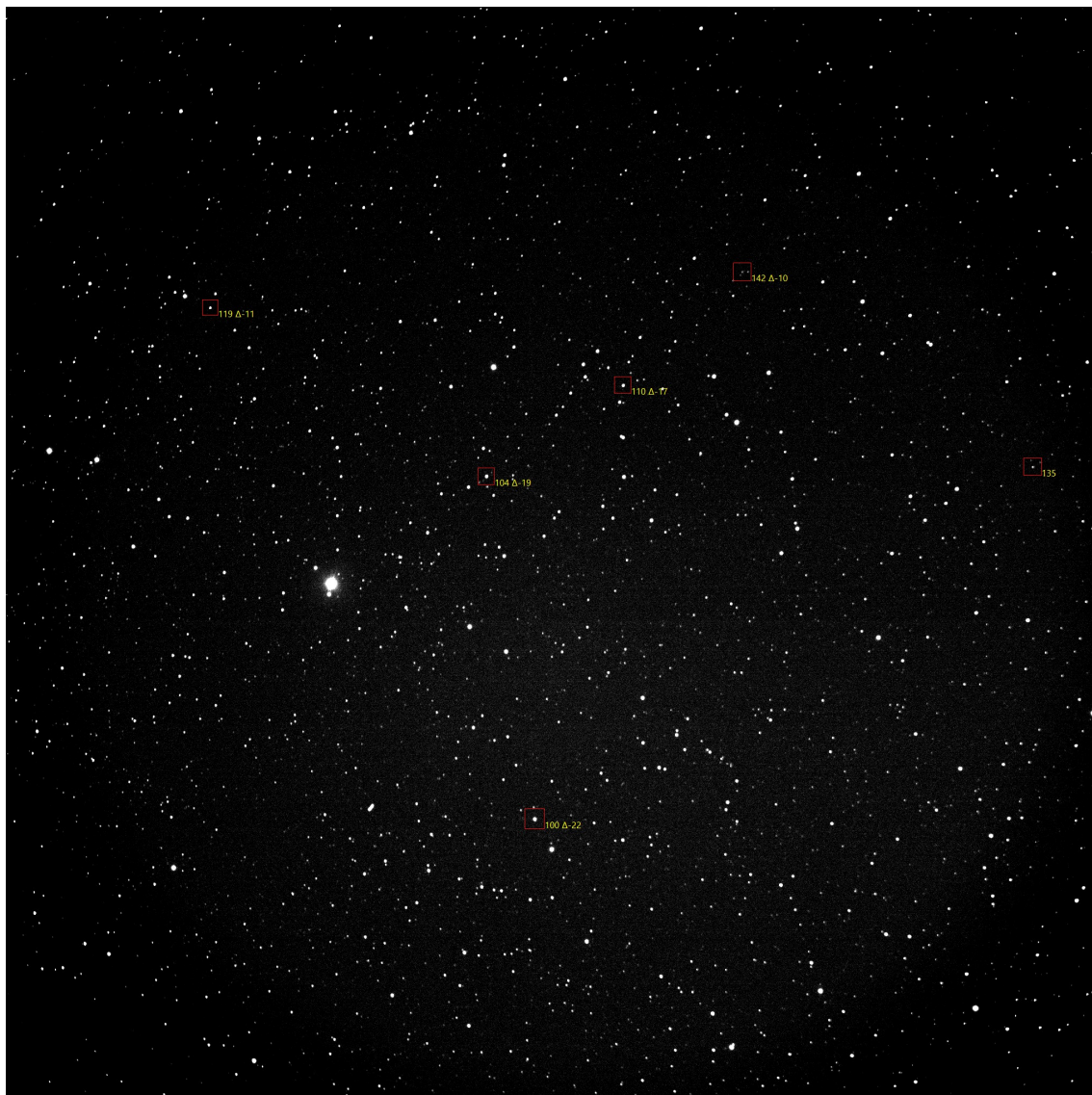


Figura 4: Sinalização de seis objectos não identificados (de acordo com a base de dados H17) presentes na imagem apresentada na Figura 1.

- Confirmar que temos instalada uma base de dados para asteroides e/ou cometas
- **Annotate asteroids & comets** [mostra os asteroides/cometas de acordo com a(s) base(s) de dados em utilização]
- **File – Save as JPEG, PNG or BMP** [guardar a imagem num formato à escolha]

No caso da imagem da Figura 1 a aplicação ASTAP juntamente com a base de dados MPCORB.dat permite identificar 4 asteroides (ver Figura 6).

Note-se que de facto são sinalizadas as posições dos asteroides mesmo que estes não estejam particularmente visíveis na imagem. O asteroide 834 Burnhamia tem magnitude

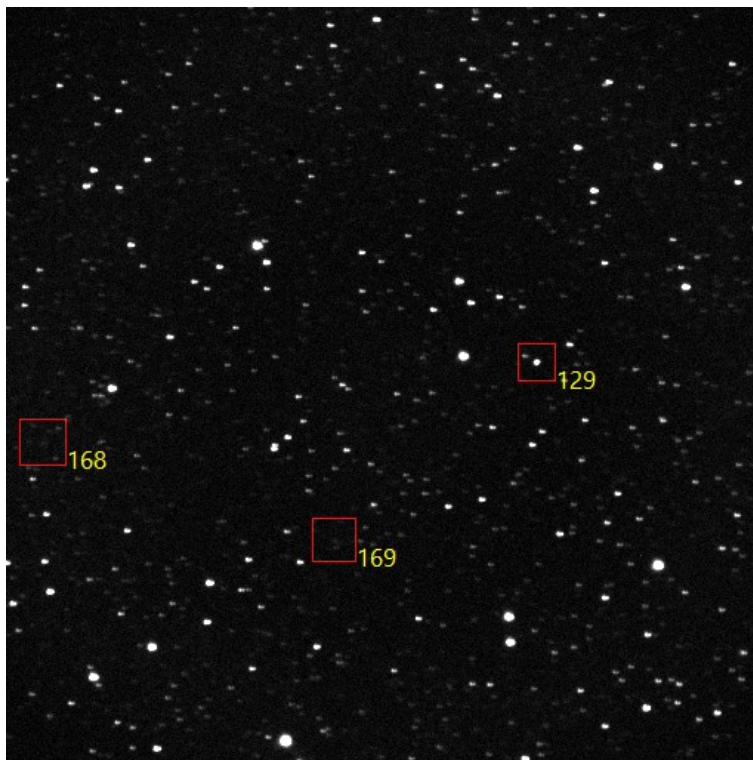


Figura 5: Sinalização de três objectos não identificados (de acordo com a base de dados H17) presentes na imagem apresentada na Figura 2.

absoluta próxima de 9.5 ao passo que as magnitudes absolutas dos asteroides 2589 Daniel e 4344 Buxtehude rondam os 12.5 (portanto muito menos brilhantes).

Relativamente à imagem da Figura 2 não foi identificado qualquer asteroide no respetivo campo de visão.

3 Potencial das imagens SST

As imagens SST estão limitadas por dois factores:

- tempo de exposição baixo [1.2 s - surveillance; 0.8 s - tracking]
- não utilização de filtros

Uma exposição de apenas 1.2 s não permite ir além da magnitude aparente $m \sim 15$. Sendo assim é pouco provável que as imagens SST possam ser utilizadas na descoberta de novos asteroides ou de novos NEO's. Por outro lado o estudo da curva de luminosidade de estrelas variáveis fica também limitado pelo facto de não serem utilizados filtros.

Imagens não filtradas e com um grande campo de visão, como as obtidas no telescópio de surveillance, podem ser utilizadas na deteção de fenómenos transientes com particular

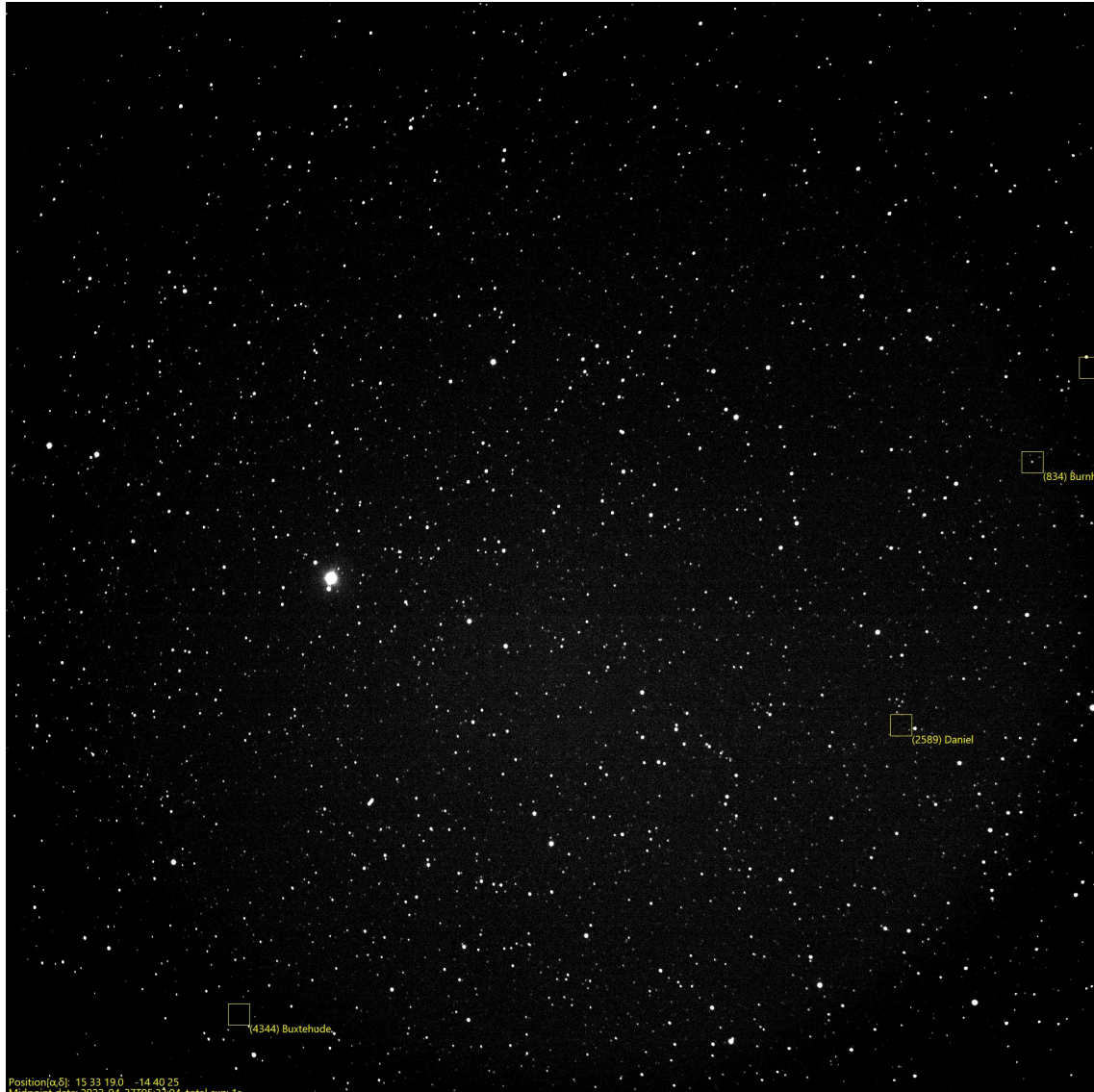


Figura 6: Sinalização quatro asteroides presentes na imagem da Figura 1. Foi utilizada a base de dados MPCORB.dat do MPC

destaque para as **explosões de novas anãs** (dwarf novae outbursts). Contudo existe já uma boa cobertura na observação deste tipo de fenómenos por projetos especializados (como são o caso do ZTF [7], ASASSN [8] ou MASTER [9]) pelo que a descoberta de novos eventos a partir das imagens SST em tempo útil afigura-se pouco provável. As imagens SST podem contudo ser utilizadas, recorrendo a algum software desenvolvido para o efeito, para fazer um levantamento estatístico destes fenómenos transientes.

Outro fenómeno transiente com algum potencial para ser seguido nas imagens SST são a **componente visível de explosões de raios gama**. Aqui também seria provavelmente necessário desenvolver algum software.

As imagens SST podem naturalmente ser utilizadas para a deteção e seguimento de ob-

jectos em órbita terrestre desde satélites a partículas de **lixo espacial** seguindo um algoritmo próprio (diverso do seguido na componente militar do projecto). As imagens podem também ser utilizadas na observação de **meteoros**.

Em resumo, embora o potencial das imagens SST na deteção de novos eventos ou objectos seja baixo, estas podem ser utilizadas na monitorização de fenómenos tais como:

- Explosões de Novas Anãs
- Objectos Próximos da Terra (os mais brilhantes)
- Explosões de Raios Gama (parte óptica)
- Meteoros
- Objectos em órbita terrestre

As imagens podem ainda ser utilizadas para determinar o número total de horas de céu limpo ou ainda para obter informação sobre o *seeing*.

Em termos académicos as imagens SST podem ainda ser utilizadas no treino da pesquisa de fenómenos transientes quer seja de forma manual, quer seja com recurso a aplicações existentes ou ainda desenvolvendo software próprio.

Ainda a nível do ensino as imagens podem ser utilizadas na realização de um conjunto de atividades onde participem alunos e docentes de escolas dos mais variados níveis de ensino.

4 Base de dados/imagens

Para que se possam explorar as potencialidades descritas na Secção 3 será necessário começar por implementar uma base de dados com as imagens SST obtidas por ambos os telescópios.

Será necessário estudar qual o melhor suporte para armazenar as imagens e qual a forma mais eficiente de o fazer. O sistema deve permitir que, de uma forma fácil, se adicionem novas imagens.

Deve ser construída uma interface que possibilite o acesso à base de dados mediante diferentes tipos de pesquisa. A seguir indicam-se os tipos de pesquisa que se afiguram mais relevantes (pelo menos numa fase inicial):

- **coordenadas** - indicando um par de coordenadas (ascensão recta + declinação) deverá ser devolvida uma listagem com todas as imagens cobrindo uma zona do céu que inclua o ponto cujas coordenadas foram introduzidas.
- **coordenadas centrais** - indicando um par de coordenadas (ascensão recta + declinação) deverá ser devolvida uma listagem com todas as imagens cujo centro corresponde ao par de coordenadas indicado.

- **intervalo de coordenadas** - indicando um intervalo para a ascensão recta e outro para a declinação deverá ser devolvida uma listagem com todas as imagens que cubram zonas totalmente ou parcialmente dentro desse intervalo de coordenadas.
- **telescópio** - deve ser possível indicar se a pesquisa deve incidir apenas em imagens de surveillance, apenas em imagens de tracking ou em ambos os tipos. Nesta opção será interessante incluir desde já a hipótese de no futuro ser possível adicionar outros observatórios/telescópios.
- **tempo** - para além de indicar as coordenadas deve ser possível juntar aos parâmetros da pesquisa um intervalo de tempo que poderá ir desde 1 minuto até vários dias (tantos quantos os dias cobertos pela base de dados).

A interface de pesquisa deve permitir combinar entre si as opções anteriores (desde que essa combinação faça sentido) possibilitando assim uma pesquisa mais específica.

Os resultados das pesquisas devem ser devolvidos em formato html (por exemplo) com links diretos para as imagens. Deve ser possível imprimir para ficheiro ou formato papel os resultados das pesquisas.

A seguir exemplificam-se algumas situações relativas à utilização futura da base de dados:

- Pretende-se **seguir a evolução de uma determinada estrela variável**. Introduzindo as respetivas coordenadas na base de dados esta devolve a lista de imagens (caso existam) nas quais a referida estrela está presente. A partir dessas imagens, com recurso a software adequado, podem extrair-se dados fotométricos dessa estrela.
- Pretende-se verificar se existe **registo da explosão de uma determinanda nova anã**. Introduzindo as respetivas coordenadas na base de dados, bem como um intervalo de tempo adequado, esta devolve a lista de imagens (caso existam) nas quais o referido evento poderá ter sido registado.
- Pretende-se **verificar se existe registo da parte óptica de uma determinada explosão de raios gama**. Introduzindo as respetivas coordenadas na base de dados, bem como um intervalo de tempo adequado, esta devolve a lista de imagens (caso existam) nas quais o referido evento poderá estar presente.
- Pretende-se **verificar se a passagem de um determinado NEO ficou registada** nas imagens SST. Dependendo da trajetória e velocidade desse objecto pode fazer-se pesquisa pelo intervalo de tempo em que este teve a sua maior aproximação à Terra e introduzir um intervalo de coordenadas que cubram a trajetória do objecto durante esse mesmo intervalo de tempo. O sistema deverá devolver a lista de imagens (caso existam) que satisfaçam os parâmetros de pesquisa.
- Pretende-se **seguir a trajectória de um determinado asteroide ou cometa**: introduzindo as coordenadas do objeto para uma determinada noite, juntamente com um intervalo de tempo adequado, o sistema devolve a lista de imagens (caso existam) nas quais o asteroide/cometa está potencialmente presente, podendo ser seguida a sua trajectória em relação à imagem de fundo.

- Pretende-se **verificar se a ocultação de uma estrela por um corpo do sistema solar ficou registada**. Introduzindo as coordenadas da estrela, juntamente com um intervalo de tempo adequado, devem ser devolvidas (caso existam) eventuais imagens onde essa ocultação possa ter sido registada.

5 Conclusões e trabalho futuro

O programa Space Surveillance and Tracking (SST) tem como objectivo central a monitorização e seguimento de *lixo espacial* em órbita terrestre potencialmente perigoso para as infraestruturas espaciais, para o acesso ao espaço bem como para a segurança das populações. No pico do Areeiro o projecto dispõe de dois telescópios óticos: um para operações de *tracking* e outro para operações de *surveillance*.

As imagens obtidas pelos dois telescópios no âmbito das observações SST apresentam como principais limitações o baixo tempo de exposição (~ 1 s) e a não utilização de filtros. Apesar disso existem ainda algumas janelas dentro das quais as imagens SST podem ser exploradas no campo da Astronomia observacional. Em particular as imagens podem ser utilizadas numa observação/deteção de Explosões de Novas Anãs, Objectos Próximos da Terra - NEO's (pelo menos os mais brilhantes), Explosões de Raios Gama (parte óptica), Meteoros e Objectos em órbita terrestre (incluindo lixo espacial).

Contudo para uma exploração eficiente das imagens SST será necessário implementar em primeiro lugar uma base de dados com uma interface adequada a qual permita seleccionar conjuntos de imagens que satisfaçam um determinado intervalo de coordenadas e/ou intervalo de tempo (consoante o objeto/evento que se pretenda estudar).

Uma vez implementada a base de dados e respetiva interface devem ser realizados diversos testes com as imagens existentes. Esses testes devem incidir sobre os exemplos apresentados na Secção 4. Com os resultados obtidos deve concluir-se qual ou quais dos tópicos (de exploração) apresentados na Secção 3 oferece maior potencialidade.

Carregando regularmente na base de dados imagens SST recentes estas poderão ser exploradas no sentido de obter resultados em tempo útil.

Referências

- [1] PORTUGUESE SST CAPABILITY- THE PORTUGUESE SPACE SURVEILLANCE NETWORK SYSTEM
- [2] SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg), <http://simbad.cds.unistra.fr/simbad/>
- [3] ASTAP, the Astrometric STACKing Program (v2022.05.29), <http://www.hnsky.org/astap.htm#conditions>.
- [4] Minor Planet Center, <https://www.minorplanetcenter.net/>
- [5] Orbits for all asteroids in the MPC database (MPCORB.DAT MPCORB.DAT.gz), <https://www.minorplanetcenter.net/data>

- [6] Orbits for current comets in the MPC database (cometels.json.gz), <https://www.minorplanetcenter.net/data>
- [7] Zwicky Transient Facility (ZTF), <https://www.ztf.caltech.edu/>
- [8] All-Sky Automated Survey for Supernovae, <https://www.astronomy.ohio-state.edu/asassn/>
- [9] MASTER GLOBAL Robotic Net, <http://observ.pereplet.ru/>