

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AEROESPACIAL**

**WILLIAM HUMBERTO ÚSUGA GIRALDO**

**MÁSCARA PARA DETECÇÃO DE DETRITOS ESPACIAIS EM IMAGENS DE  
TELESCÓPIO ADQUIRIDAS EM MODO ESTÁTICO**

Natal - RN  
Janeiro/2021

WILLIAM HUMBERTO ÚSUGA GIRALDO

**MÁSCARA PARA DETECÇÃO DE DETRITOS ESPACIAIS EM IMAGENS DE  
TELESCÓPIO ADQUIRIDAS EM MODO ESTÁTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aeroespacial, área de concentração: Ciências Espaciais

Orientador: Prof. Dr. José Dias do Nascimento

Natal - RN  
Janeiro/2021

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

William Humberto Úsuga Giraldo.

Máscara para detecção de detritos espaciais em  
imagens de telescópio adquiridas em modo estático /  
William Humberto Úsuga Giraldo. - 2022.  
98f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio  
Grande do Norte, Escola de Ciências e Tecnologia,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Aeroespacial,  
Natal, 2022.

Orientador: Dr. Jose Dias do Nascimento Junior.

1. Detritos espaciais - Dissertação. 2. Limpeza do  
Espaço - Dissertação. 3. Órbitas Terrestres -  
Dissertação. 4. Mitigação do risco dos detritos  
espaciais - Dissertação. 5. Detecção de detritos  
espaciais - Dissertação. I. Nascimento Junior, Jose  
Dias do. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor José Dias do Nascimento Jr, pela orientação e confiança e muita paciência dispensadas ao longo deste trabalho.

Ao professor José Henrique Fernandez (Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial - PPGEA).

Ao Dr Leandro de Almeida pela ajuda no processo, pela amizade e confiança.

À Pró-Reitoria de Pós-Graduação - PPg da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN.

Á meu amigo Agustín Vallejo Villegas pela ajuda nos cálculos finais.

Á meus amigos e companheiros da residência de pós-graduação, o Lucas Alves, a Tamirez Duarte, a Fatima Simplicio, o Raimundo Neto.

Á minha amiga Karla Jucielle e sua família, á meus amigos Luciano Henrique e Simião Alefe, pela amizade, foram meus primeiros amigos no Brasil.

À minha família pelo fato de estar comigo sempre e pela confiança.

*A educação não muda o mundo, ela muda as pessoas que vão mudar o mundo*

Paulo Freire

## **RESUMO**

Detritos orbitais com aproximadamente 10 cm de tamanho e maiores podem ser monitorados com telescópios e radares terrestres. Estes detritos ameaçam o funcionamento de satélites e trazem impacto na economia e na segurança global das atividades espaciais. Na órbita geoestacionária GEO, onde está a maioria dos satélites com maior valor econômico, são aproximadamente 842 detritos catalogados. Já na órbita terrestre baixa LEO são aproximadamente 13485 detritos catalogados. No entanto, estudos da Agência Espacial Europeia ESA mostram que centenas de milhões de pequenos objetos acima de 1 mm estão neste momento nas duas órbitas GEO e LEO acima da Terra e ainda não foram catalogados. Neste trabalho criamos um procedimento computacional para detectar possíveis detritos espaciais em órbita GEO com imagens obtidas a partir de telescópios em terra e em modo de taxa de rastreamento (Tracking Rate Mode) (TRM), onde as estrelas do fundo do céu aparecem em forma de linhas nas imagens de dispositivo de carga acoplada (charge-coupled device) CCD e o lixo em forma de pontos. The images used in this work were obtained with one of the telescopes of the system (Panoramic Electro-Optical System) PanEOS, the images are 2092 x 2092 pixels (high resolution), with 5 degrees of field of view (FOV) and with 7 seconds of exposure, the telescope used has an aperture of 750 mm and is installed in the Picos dos Dias observatory of the National Astrophysics Laboratory (LNA). For this research we used the Photutils package written in Python to build a mask and separate stars from candidate space debris. Nossa metodologia consistiu em primeiramente suavizar as imagens usando um filtro Gaussiano, em seguida cada elemento (estrelas e outras fontes) foram etiquetados em diferentes categorias e finalmente as estrelas foram apagadas, resultando somente os candidatos de detritos espaciais ou satélites. Testamos combinações de fluxo para estabelecer o limite de detecção e utilizamos a diferentes points spread function (PSF) para determinar o limite da alongação dos objetos. Nossa metodologia trabalha com uma única imagem por vez de forma rápida e eficiente e permite detectar objetos com diferentes PSF e desta forma requer baixa capacidade de hardware. Nossos resultados nesta fase de validação identificaram 76% dos lixos artificiais de treino e nas imagens reais do telescópio PanEOS detectamos objetos reais e consistentes com um possível detrito espacial. Por fim, conclui-se que o algoritmo permite a leitura de um banco de dados de imagens reais

como as que temos do telescópio PanEOS e é o primeiro passo para catalogar os detritos espaciais e encontrar o tamanho.

**Palavras-chave:** Limpeza do Espaço, Órbitas Terrestres, Detritos Espaciais, Impacto econômico, Mitigação

## ABSTRACT

Orbital debris approximately 10 cm in size and larger can be monitored with ground-based telescopes and radar. These debris threaten the operation of satellites and impact the economy and global security of space activities. In the geostationary orbit (GEO), where most of the highest economic value satellites are located, there are approximately 842 cataloged debris. In the Low Earth Orbit (LEO) there are approximately 13485 cataloged debris. However, European Space Agency (ESA) studies show that hundreds of millions of small objects above 1 mm are currently in the two GEO and LEO orbits above Earth and have not yet been catalogued. In this work we created a computational procedure to detect possible space debris in GEO orbits with images obtained from telescopes on land and in Tracking Rate Mode, where the stars in the sky background appear in the form of lines in the CCD images and the garbage in the form of points. CCD images of 2092 x 2092 pixels (high resolution), with 5 degrees of field of view (FOV) and 7 seconds of exposure, used in this work, were obtained with the PanEOS telescope (Panoramic Electro-Optical System), 750 mm of opening, installed in the observatory of Picos dos Dias of the National Laboratory of Astrophysics (LNA). For this research we adapted the Photutils packages written in Python to build a mask and separate stars from candidate space debris. Our methodology consisted of first smoothing the images using a Gaussian filter, then each element was tagged in different categories and finally the stars were erased, resulting in only the space debris candidates. We test flux combinations to establish the detection limit and use different points spread function (PSF) to determine the elongation limit of objects. Our methodology works with a single image at a time quickly and efficiently and allows detecting objects with different PSF and thus requires low hardware capacity. Our results in this validation phase identified 76% of the artificial training debris and in the real images of the PanEOS telescope we detected real

objects and consistent with a possible space debris. Finally, it is concluded that the algorithm allows the reading of a database of real images like the ones we have from the PanEOS telescope and is the first step to catalog space debris and find the size.

**Keywords:** Space Clearing, Earth Orbits, Space Debris, Impact, Mitigation



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>HIPÓTESE .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>CONTEXTO HISTÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>6.1</b>	<b>Fontes de detritos espaciais .....</b>	<b>8</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Relacionado à missão.....</b>	<b>8</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Fragmentação .....</b>	<b>8</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Anômalo / Deterioro .....</b>	<b>9</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Escória / NaK / Outro .....</b>	<b>9</b>
<b>6.2</b>	<b>Causas de detritos espaciais e caracterização.....</b>	<b>10</b>
<b>6.3</b>	<b>Mitigação do risco de detritos espaciais .....</b>	<b>11</b>
<b>6.4</b>	<b>Impacto socioeconômico dos detritos espaciais .....</b>	<b>16</b>
<b>6.5</b>	<b>Medição e rastreamento de detritos espaciais .....</b>	<b>18</b>
<b>6.6</b>	<b>Técnicas de remoção de detritos espaciais .....</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>22</b>
<b>7.1</b>	<b>Modos de monitoramento do céu por telescópios para encontrar detritos espaciais.....</b>	<b>22</b>
<b>7.2</b>	<b>Tipos de ruído em imagens digitais .....</b>	<b>25</b>
<b>7.2.1</b>	<b>Ruído Gaussiano .....</b>	<b>26</b>
<b>7.2.2</b>	<b>Ruído de sal e pimenta .....</b>	<b>26</b>
<b>7.2.3</b>	<b>Ruído Poisson .....</b>	<b>27</b>
<b>7.2.4</b>	<b>Speckle Noise .....</b>	<b>28</b>
<b>7.3</b>	<b>Remoção de ruído .....</b>	<b>28</b>

7.4	Estimativa de fundo.....	29
7.5	Remoção de fundo das imagens .....	31
7.6	Processo de detecção de traços na imagem .....	31
7.6.1	Morfologia Matemática .....	32
7.6.2	Processo de binarização das imagens.....	33
7.6.3	Aplicação da transformação TopHat .....	35
8	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS.....	40
8.1	Telescópio PanEOS.....	42
8.2	Processo para encontrar objetos redondos (candidatos a lixos espaciais) em imagens tiradas pelo telescópio PanEOS em modo estático.....	43
8.2.1	Suavizando a imagem.....	44
8.2.2	Determinando um limite de detecção .....	45
8.2.3	Segmentando a imagem por categorias de elementos, usando a biblioteca Photutils Deblend Sources .....	45
8.2.4	Encontrando o alongamento de cada elemento na imagem .....	46
8.2.5	Mascara dos elementos dentro da imagem com alongamento maior que um limite definido, neste caso o limite é 1,2 .....	46
8.2.6	Mascaramento dos elementos da imagem com uma área menor que 10 pixels, que têm alta probabilidade de serem pixels quentes.....	46
8.2.7	Cálculo do tamanho de dois candidatos para detritos espaciais .....	47
8.2.8	Altura em que o objeto orbita acima da superfície da terra.....	47
8.2.9	Calculando a posição do objeto nas coordenadas do solo.....	48
8.2.10	Calculando a distância focal do telescópio .....	50
8.2.11	Escala do CCD .....	51
8.2.12	Cálculo do tamanho dos objetos detectados nas imagens.....	52
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
10	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICE A – Informações sobre as imagens analisadas.....	66

<b>APÊNDICE B – Imagens analisadas com o algoritmo .....</b>	<b>67</b>
<b>APENDICE C: Código em Python utilizando a biblioteca Phototools para encontrar objetos nas imagens.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE D: Estimativa de tamanho de satélites geossíncronos por imagem direta</b>	<b>79</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>SNN</b>	<i>Space Surveillance Network (<b>Rede de Vigilância Espacial</b>)</i>
<b>IADC</b>	<i>Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (<b>Comitê de Coordenação de Detritos Espaciais Interagências</b>)</i>
<b>LNA</b>	<i>Laboratório Nacional de Astrofísica (<b>Laboratório Nacional de Astrofísica</b>)</i>
<b>FITS</b>	<i>Flexible Image Transportation System (<b>Sistema flexível de transporte de imagens</b>)</i>
<b>LEO</b>	<i>Low Earth Orbit (<b>Órbita Baixa da Terra</b>)</i>
<b>GEO</b>	<i>Geostationary Orbit (<b>Órbita Geoestacionária</b>)</i>
<b>ESA</b>	<i>European Space Agency (<b>Agência Espacial Europeia</b>)</i>
<b>NASA</b>	<i>National Aeronautics and Space Administration (<b>Administração Nacional Aeronáutica e Espacial</b>)</i>
<b>UM COPUS</b>	<i>Space Debris Mitigation Guidelines (<b>Diretrizes de Mitigação de Detritos Espaciais</b>)</i>
<b>WCS</b>	<i>World coordinate System (<b>Sistema de coordenadas mundiais</b>)</i>
<b>ODC</b>	<i>Orbital Debris Collector (<b>Coletor de Detritos Orbital</b>)</i>
<b>PSF</b>	<i>Point Spread Function (<b>Função de Propagação de Pontos</b>)</i>
<b>CCD</b>	<i>Charge-Coupled Device (<b>Dispositivo Acoplado a Carga</b>)</i>
<b>MSE</b>	<i>Mean Square Error (<b>Erro quadrado médio</b>)</i>
<b>MAE</b>	<i>Median absolute error (<b>Erro absoluto mediano</b>)</i>
<b>PSNR</b>	<i>Peak signal-to-noise ratio (<b>Relação sinal-ruído de pico</b>)</i>
<b>SSN</b>	<i>Sidereal Star Mode (<b>Modo Estrela Sideral</b>)</i>
<b>TRM</b>	<i>Track Rate Mode (<b>Modo de taxa de rastreamento</b>)</i>
<b>BRDF</b>	<i>Bidirectional Reflectance Distribution Function (<b>Função de Distribuição de Refletância Bidirecional</b>)</i>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de objetos em órbitas LEO e GEO .....	8
Tabela 2. Satélites em operação por órbita e por país .....	14
Tabela 3. Principais custos e impactos atuais do lixo espacial.....	17
Tabela 4. Principais custos e impactos futuros do lixo espacial .....	17
Tabela 5. Agencias que pertencem ao grupo IADC .....	19
Tabela 6. Coordenadas geocêntricas dos objetos detectados e do observatório astronômico	49
Tabela 7. Constantes da CCD .....	50
Tabela 8. Resumo dos dados analisados .....	55

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Detritos espaciais por país em janeiro de 2020.....</i>	<i>4</i>
Figura 2. Tipo de lixo espacial por porcentagem.....	10
Figura 3. Causas da geração de detritos espaciais.....	11
Figura 4. Quantidade de Nano-satélites enviados desde 1998 .....	15
Figura 5. Número de objetos em órbita maior que 10 cm, incluindo hardware operacional..	16
Figura 6. Diferentes técnicas para remoção de detritos espaciais.....	20
Figura 7. Diferentes técnicas para remoção de detritos espaciais.....	21
Figura 8. Diferença entre os diferentes modos SSM e TRM .....	23
Figura 9. Processo geral para extrair satélites ou detritos espaciais de imagens adquiridas no modo SSN	
Figura 10. Processo geral para extrair satélites ou detritos espaciais de imagens adquiridas no modo TRM.....	25
Figura 11. Exemplo de imagem com ruído gaussiano.....	26
Figura 12. Exemplo de imagem com ruído de Sal e Pimenta.....	27
Figura 13. Exemplo de imagem com Ruído Poisson.....	28
Figura 14. Speckle Noise em imagens de satélite.....	28
Figura 15. Comparação entre alguns dos tipos mais comuns de ruído e filtros.....	29
Figura 16. Exemplos de variações de fundo devido a problemas operacionais de CCD .....	30
Figura 17. Histograma da imagen de teste com céu limpo.....	34
Figura 18. Imagem original e imagem após a aplicação da binarização .....	35
Figura 19. Elemento estrutural e ângulo de inclinação.....	36
Figura 20. Elementos estruturais SE.....	36
Figura 21. Estimativa e remoção do fundo.....	37
Figura 22. Filtrado das estrelas e objetos encontrados .....	38
Figura 23. Medição do tamanho e ângulo das estrelas em forma de traços de linha .....	39
Figura 24. Imagem ampliada com fontes reais.....	41

Figura 25. Imagem ampliada com fontes reais e artificiais .....	42
Figura 26. Telescópio PanEOS no observatório Pico dos Dias.....	43
Figura 27. Processo para encontrar candidatos a detritos espaciais.....	44
Figura 28. Imagem segmentada .....	45
Figura 29. Objetos encontrados após a aplicação das máscaras.....	47
Figura 30. Relação entre tempo sideral, ascensão reta e ângulo horário.....	49
Figura 31. Ilustração do cálculo da largura CCD.....	50
Figura 32. Ilustração da resolução da CCD .....	51
Figura 33. Imagem completa sem tratamento .....	57
Figura 34. Imagem após tratamento com máscara, com sete possíveis candidatos a lixo espacial .....	58

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$	Semi-eixo maior da órbita
$T$	Tempo
$G$	Constante de gravitação universal
$M$	Massa da terra
$H$	Altura desde a terra hasta os objetos detectados
$R_{\oplus}$	Radio da terra
$T_s$	Tempo sideral
$\alpha$	Ascensão reta
AH	Ângulo horário
$Y$	Ponto vernal
$L$	Longitude
$Dec$	Declinação
$\mu m$	Micrometros
$Pix$	Píxeis
$F$	Distancia focal
$b$	Ancho da CCD
$A$	Área dos objetos em pixels
$D$	Diâmetro dos objetos em pixels
$T$	Diâmetro dos objetos em metros
$\alpha_g$	Albedo de um objeto em orbita
$f(\phi)$	Função de fase
$E_R$	Irradiância
$L$	Radiância
$\phi$	Ângulo de fase
$(\theta_r, \phi_r)$	Ângulos em coordenadas polares em que a luz atinge o objeto
$(\theta_i, \phi_i)$	São os ângulos em coordenadas polares em que a luz é refletida do objeto



## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da corrida espacial, grandes quantidades de objetos foram lançadas ao espaço, os quais ao longo do tempo se acumularam e colidiram uns com os outros, criando milhões de detritos espaciais, essa situação se tornou um risco para os satélites funcionais, a estação espacial internacional e para os projetos que serão lançados nos próximos anos (SYLVESTRE; PARAMA, 2017).

Até o momento não existe uma definição oficial em nível internacional para o que é lixo espacial, no entanto, podemos dizer que são todos os objetos que orbitam a terra, naturais ou artificiais (feitos pelo homem) que não desempenham nenhuma função, como por exemplo, satélites inativos, partes de foguetes e em geral todos os pequenos fragmentos que resultaram de colisões e da deterioração de naves espaciais, foguetes e satélites (UNDSETH et al., 2020). Os detritos mais perigosos são aqueles maiores que 10 cm, pois atingem velocidades médias de milhares de quilômetros por hora e ainda não foram desenvolvidas tecnologias nem materiais os suficientemente fortes para suportar impactos com essa massa, no entanto, pequenos objetos, com menos de 10 centímetros de diâmetro, ainda são muito perigosos, pois são muito difíceis de rastrear, estima-se que sejam mais de 1 milhão e se movam a velocidades de até 7-15 km / h (CHA et al., 2020). Em 2019, foram catalogados mais de 5.400 objetos com tamanho maior que 1 metro, 34.000 maiores que 10 cm, 900.000 maiores que 1 cm e mais de 130 milhões maiores do que 1 mm (STRASSE, 2021). Esses objetos somados à crescente remessa de hardware para o espaço por parte de todos os países do mundo, como é demonstrado na Figura 1, aumenta exponencialmente a probabilidade de colisões e, portanto, o aumento de mais detritos espaciais em um efeito em cascata denominado síndrome de Kessler (DRMOLA; HUBÍK, 2018).

Muitas empresas estão colocando satélites em órbita baixa (LEO) de forma acelerada para formar mega-constelações que serão especialmente úteis para serviços de comunicação. Inclusive, apenas em dois anos o número de satélites funcionais e não funcionais na referida órbita aumentou em 50%. Apenas a Space X está em processo de colocação de mais de 11.000 satélites novos nos próximos anos e tem permissão para construir outros 30.000 em conjunto com a Federal Communications Commission (FCC) (BOLEY; BYERS, 2021). A Amazon também

planeja enviar nos próximos anos, por meio de seu projeto Kuiper, mais de 3.236 satélites avançados para órbita baixa (HOWELL, 2021) e a empresa OneWeb planeja lançar 650 satélites, dos quais já colocou em operação 254 em julho de 2021 (AIRBUS, 2022).

As principais vantagens das órbitas altas como a (GEO) é que permitem aos satélites de telecomunicações cobrir grandes áreas da terra ao mesmo tempo, em comparação com os satélites colocados nas órbitas baixas (LEO) e meia (MEO), que precisam criar grandes redes de constelações para cumprir a mesma função (STRASSE, 2021), porém, a vantagem dos satélites colocados em órbita baixa é que é mais fácil e menos dispendioso colocá-los no espaço, além de ser mais fácil de manter ou substituir em caso de avaria. Até o momento, o conhecimento dos detritos espaciais na órbita GEO é incompleto e os catálogos existentes são em sua maioria de detritos com tamanhos maiores que 20 centímetros, ampliando a capacidade de detecção se forem incluídos telescópios meter-class que conseguem detectar objetos até 10 cm de tamanho, alguns dos principais telescópios que estudam objetos naquela altitude são o Telescópio Magalhães e o Pan-STARRS, pertencentes à Rede de Vigilância Espacial (SSN) (DU; SANG, 2019).

Dada a importância de encontrar ações que mitiguem o impacto dos detritos espaciais, alguns países têm buscado diferentes soluções políticas e tecnológicas ao longo dos anos, por exemplo, há propostas de limpeza de espaços que consistem na retirada de entulhos da órbita por meio de robôs e redes especiais (SHAN et al., 2015), relocação de satélites projetos estão em operação, como a empresa clean space já está fazendo, que enviou uma sonda para mover um satélite de uma órbita para outra e estender sua vida útil (BARBOSA, 2020), também alguns países que não tinham a tecnologia para a observação e rastreamento de detritos espaciais, estão começando a fazer pesquisas próprias, como é o caso do Brasil, que em parceria com a Rússia, instalou um telescópio no ano 2017 no observatório do pico dias para rastrear detritos espaciais (RODRIGUEZ, 2017). Sabe-se que o telescópio teve um custo de R\$ 10 milhões e que será associado ao projeto Panoramic Electro-Optical System for Space Debris (PanEOS), que visa criar uma rede de observatórios entre a Rússia e os países parceiros para vigilância de detritos espaciais. O observatório do Pico dos Dias dispõe de mais 4 telescópios para a pesquisa astronômica e foi escolhido pela agência Roscosmos, pois devido à sua localização geográfica no sul do continente, será um

complemento estratégico nas observações do céu naquele hemisfério (ELDIARIO.ES, 2017).

Até agora, inúmeras técnicas foram estudadas e implementadas para a detecção de satélites e detritos espaciais em imagens, a morfologia matemática por exemplo se baseia em padrões geométricos para mascarar partes específicas de uma imagem que são apresentadas na forma de padrões (LAAS-BOUREZ et al., 2009), (SUN et al., 2012), o filtro correspondente, junto com a transformação de Fourier e a transformação de Radon removem o ruído de fundo e as estrelas e deixam apenas os objetos na forma de pontos nas imagens (LEVESQUE, 2011), a máscara óptica subtrai o fundo da imagem, e, em seguida, apaga as estrelas de fundo em imagens consecutivas (KONG et al., 2019), e a técnica de deconvolução de imagens permite encontrar objetos tênues (NÚÑEZ et al., 2015) Mais recentemente, aproveitando as melhorias que foram dadas na capacidade de computação, técnicas de Aprendizado de Máquina com redes neurais convolucionais profundas estão sendo aplicadas para detectar detritos espaciais em diferentes órbitas (TAO et al., 2019), (XI et al., 2020).

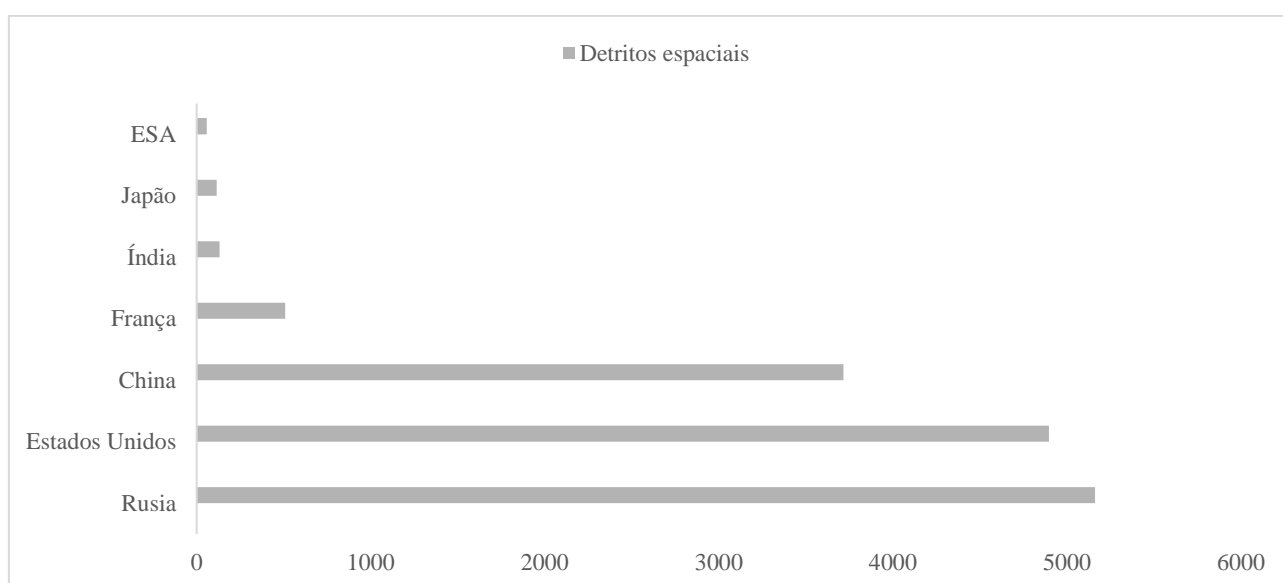
Ao capturar uma imagem seguindo o céu, os objetos em movimento aparecem como linhas na imagem, desaparecendo rapidamente. Se uma imagem do céu for tirada com o telescópio em modo TRM, por exemplo, para observar objetos na órbita GEO, os objetos em movimento aparecerão como pontos (NÚÑEZ et al., 2015). Aproveitando os dados do telescópio PanEOS do observatório LNA de Minas Gerais, dedicado ao rastreamento de detritos espaciais, neste trabalho foi criado um algoritmo capaz de detectar e localizar objetos em forma aproximadamente circular, nas imagens adquiridas em modo estático.

Primeiro com o fim de reduzir o ruído de fundo, as imagens são suavizadas utilizando um filtro Gaussiano, posteriormente cada elemento dentro das imagens são segmentados em categorias que dependem da forma geométrica de cada objeto e do tamanho em pixels, para isso foi utilizada a biblioteca Photutils escrita na linguagem Python. Finalmente, as estrelas são apagadas deixando só os pontos que são os candidatos mais possíveis para ser lixo espacial. Para validar o algoritmo, foram colocados pontos artificiais de diferentes tamanhos e PSF em diferentes imagens e foram escolhidas várias imagens com possíveis detritos reais. Ao final, o algoritmo conseguiu detectar todos os pontos de teste e os reais em todas as imagens, com uma eficiência de 76%.

A localização dos objetos em relação ao observatório astronômico, em coordenadas equatoriais, é determinada pela longitude, que foi calculada como a diferença entre o ângulo de ascensão reta e o tempo sideral, a longitude, que equivale à declinação, e que é constante em todos os momentos, e a altura que foi calculada com a terceira lei de Kepler, mas que, no entanto, já é conhecida desde o início, pois é uma órbita GEO que está sendo estudada.

O tamanho dos objetos detectados foi tentado a partir de cálculos geométricos com a terceira lei de Kepler, o comprimento focal do telescópio e a escala CCD, mas concluiu-se que não é possível fazê-lo dadas as limitações do ângulo de resolução da CCD, que só permite calcular o tamanho de objetos da ordem de quilômetros. Sabe-se que um método que poderia funcionar, embora com algum erro para encontrar o tamanho das fontes encontradas, seria utilizando o albedo dos objetos e cálculos fotométricos com esferas lambertianas (PRADHAN et al., 2019), porém o cálculo fica como uma proposta para estudos futuros.

*Figura 1. Detritos espaciais por país em janeiro de 2020*



(UNDSETH et al., 2020)

## **2 JUSTIFICATIVA**

A grande quantidade de detritos que orbitam a Terra em diferentes altitudes, compostos principalmente por peças que resultaram de colisões entre satélites, partes de estágios de foguetes, meteoroides e em geral por objetos fora de uso feitos e colocados em órbita pela humanidade, representam um perigo no ambiente espacial cada vez mais lotado, uma vez que muitos desses pequenos objetos ainda não foram catalogados e suas trajetórias não são conhecidas. Para evitar possíveis colisões, são necessárias tecnologias que permitam detectar e rastrear a maior quantidade desses entulhos, principalmente aqueles maiores que 10 cm, os quais são os mais perigosos, para posteriormente catalogá-los e criar planos de mitigação, como o planejamento de rotas seguras para missões espaciais, projetar manobras de evasão e avançar em projetos futuros de limpeza do espaço. Neste trabalho foi criado um procedimento utilizando Astropy e Photutils que permite detectar objetos aproximadamente de forma circular, candidatos a ser detritos espaciais, em imagens de telescópios. Serão utilizados os dados obtidos no observatório do pico dos dias OPD com o sistema de telescópios PanEOS da Roscosmos, porém o software pode ser aplicado em imagens obtidas em diferentes partes do mundo por outros telescópios.

## **3 HIPÓTESE**

Podemos encontrar possíveis detritos espaciais, em imagens adquiridas por telescópios em modo TRM, (onde as estrelas aparecem na forma de linhas tracejadas e as fontes, na forma de pontos), criando um procedimento que categoriza cada elemento dentro as imagens em classes que dependem da forma e geometria, para posteriormente mascarar e eliminar aquelas que são mais alongadas e que correspondem às estrelas e manter apenas as mais circulares que seriam as melhores candidatas a lixo espacial.

#### **4 OBJETIVO GERAL**

Criar um programa em python, utilizando as bibliotecas Astropy e Photutils que permita detectar possíveis detritos espaciais em forma aproximadamente circular, em imagens de telescópios adquiridas em modo TRM.

#### **5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Criar um algoritmo que permita detectar objetos circulares em imagens individuais e de forma rápida e fácil a partir de qualquer PC desktop com especificações técnicas padrão.
- Encontrar a localização em coordenadas equatoriais dos objetos detectados nas imagens.

## 6 CONTEXTO HISTÓRICO

Desde que a corrida espacial começou em 1955, diferentes países do mundo enviaram continuamente objetos ao espaço que se acumularam em diferentes órbitas, resultando em um aumento ao longo do tempo na quantidade de detritos espaciais devido a rupturas, explosões e choques que ocorrem mais comumente neste ambiente lotado. Como mostra a Tabela 1, o maior número de objetos entre detritos espaciais e hardware operativo estão em órbita LEO baixa, entre 800 e 1000 quilômetros de altitude, outro número importante está entre 19.000 e 23.000 quilômetros e também em 36.000 quilômetros onde os satélites de telecomunicações e clima estão localizados (UNDSETH et al., 2020).

Até 2020, a rede de Vigilância Espacial dos EUA catalogou mais de 34.000 detritos maiores que 10 cm, dos quais 2.000 são satélites ativos. As estatísticas da ESA estimam que existam aproximadamente 5.400 detritos maiores que 1 m, 900.000 maiores que 1 cm, mais de 130 milhões pequenos detritos maiores que 1 mm e centenas de milhões menores que 1 mm que não foram catalogados (STRASSE, 2021).

Três países são responsáveis por aproximadamente 95% dos detritos espaciais, especialmente devido à fragmentação, a China está em primeiro lugar com 42%, os Estados Unidos seguem com 27,5% e a Rússia 25,5%. Os dois eventos que mais contribuíram com detritos espaciais nos últimos anos são: a destruição intencional para fins militares do satélite chinês FengYun-1C, que ocorreu em 2007 e a primeira colisão registrada entre dois satélites, neste caso Iridium 33 e Kosmos-2251, que ocorreu em 2009. A destruição do FengYung-1C liberou uma nuvem de aproximadamente 3300 novos destroços no espaço, enquanto a colisão entre Iridium 33 e o Kosmos-2251 deixou mais de 2200 pequenos pedaços em órbita (Sylvestre & Parama, 2017).

Os países que mais enviaram objetos ao espaço, conforme mostrado na Figura 1, são os Estados Unidos em primeiro lugar, seguidos pela Rússia, China, França, Índia, Japão e ESA (UNDSETH et al., 2020).

Tabela 1. Quantidade de objetos em órbitas LEO e GEO

	Detritos de Fragmentação	Detritos relacionados a missões	Corpos de Foguete	Cargas	Total (incluindo outros tipos de objetos)
LEO	8681	769	855	2943	13485
GEO	3	44	65	742	842
Total (incluindo outros tipos de objetos)	10525	1224	1884	4708	22014

(SYLVESTRE; PARAMA, 2017)

## 6.1 Fontes de detritos espaciais

As principais fontes de geração de detritos espaciais estão resumidas a seguir, pode-se notar como mostra a Figura 2 que a principal fonte são rupturas ou fragmentação, devido a missões militares para destruir satélites, colisões entre satélites ou colisões entre satélites e lixo.

### 6.1.1 Relacionado à missão

São todos objetos que são lançados ao espaço durante a operação normal de satélites e outras missões espaciais, alguns desses objetos são por exemplo: tampas de lentes, dispositivos de separação e embalagem, mecanismos de giro, tanques de combustível vazios e tampas de carga úteis, normalmente deste tipo de objetos reentram na atmosfera com facilidade.

### 6.1.2 Fragmentação

São todos os detritos gerados pelas forças aerodinâmicas que um objeto experimenta ao se aproximar da atmosfera terrestre ou por explosões e colisões acidentais ou intencionais.



### 6.1.3 Anômalo / Deterioro

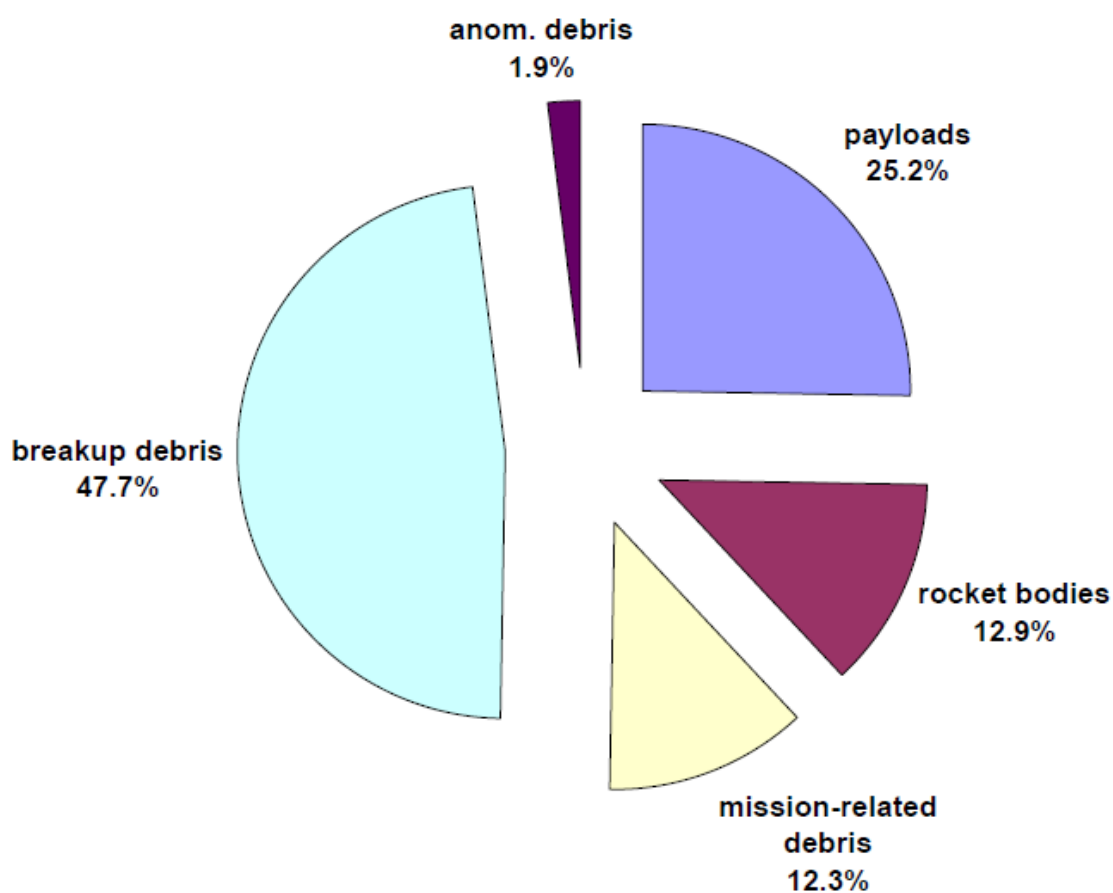
Com o passar do tempo, a deterioração das naves espaciais faz com que peças quase intactas se desprendam, esses tipos de eventos são chamados de Anômalos e ocorrem em baixas velocidades. Outros tipos de fragmentos, de tamanhos menores, são causados pela deterioração da pintura do exterior das espaçonaves, geralmente devido à erosão do oxigênio atômico presente no ligante orgânico da tinta.

### 6.1.4 Escória / NaK / Outro

Muitos pequenos detritos são criados por ejeções do motor de foguete sólido (SRM) que produzem partículas de óxido de alumínio ( $AL_2O_3$ ) chamadas de escória. Essas partículas são formadas durante a rápida expansão, propagação e solidificação da escória de ( $AL_2O_3$ ) fundida acumulada durante a combustão.

Outra classe de pequenas partículas é devido a uma liga de sódio e potássio ( $NaK$ ) que foi gerado durante o lançamento da espaçonave RORSAT da União Soviética, entre os anos de 1971 a 1988, os reatores nucleares a bordo liberaram milhares de pequenas gotas de refrigerante, hoje estima-se que existam mais de 50.000 gotas de ( $NaK$ ) em órbita.

Figura 2. Tipo de lixo espacial por porcentagem

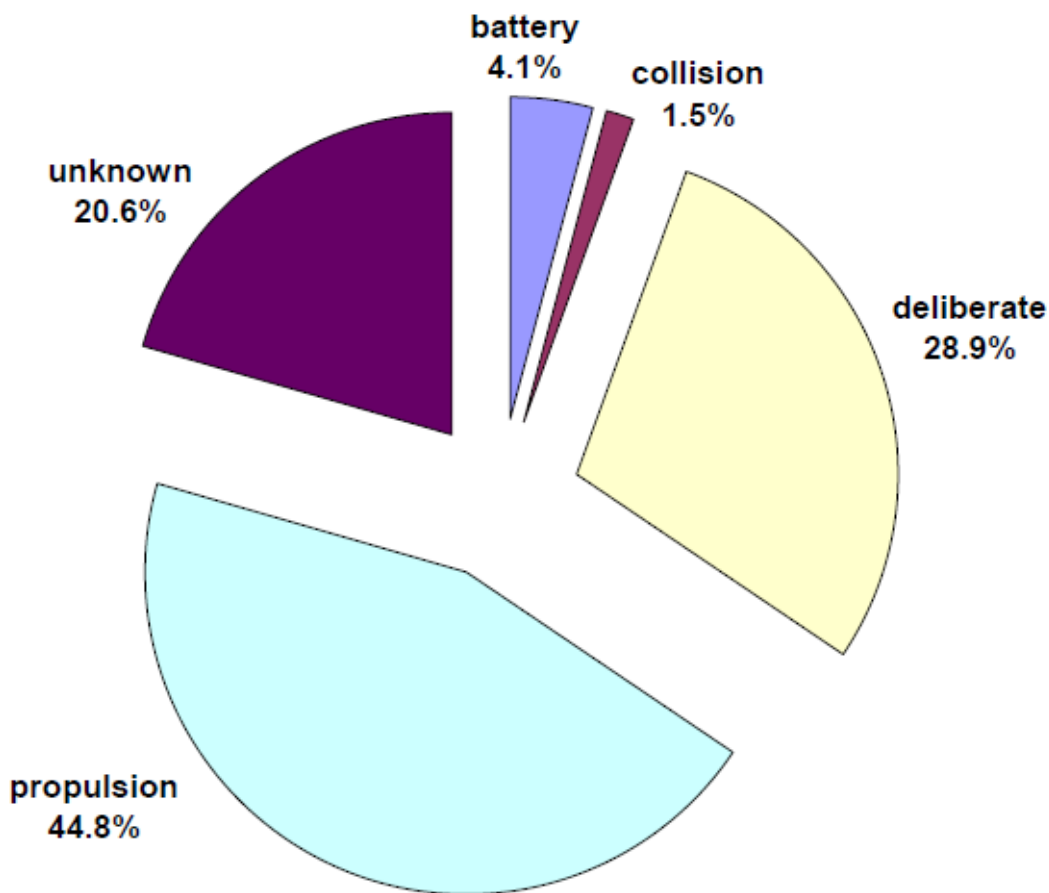


(NASA STANDARD, 2018)

## 6.2 Causas de detritos espaciais e caracterização

Sabe-se que as explosões devidas a problemas de propulsão representam mais de 44% das causas de geração de detritos espaciais, as causas deliberadas frequentemente relacionadas a questões de segurança nacional representam quase 30%. Em uma porcentagem menor de aproximadamente 4% têm as causas devido a problemas com as baterias e a causa que menos contribui para a quantidade de lixo gerado são as colisões acidentais que representam apenas 1,5%, a Figura 3 mostra o percentual de causas que geram detritos espaciais por número de eventos.

Figura 3. Causas da geração de detritos espaciais



(NASA STANDARD, 2018)

### 6.3 Mitigação do risco de detritos espaciais

Os avanços tecnológicos que vêm ocorrendo nos últimos anos têm levado a um aumento do uso do espaço tanto por interesses civis, comerciais e militares, esse aumento de atividades somado à grande quantidade de lixo em órbita, têm produzido uma saturação de valiosos recursos como diferentes rotas aeroespaciais e espectros de radiofrequência (UNDSETH et al., 2020), conduzindo assim à criação de políticas de colaboração internacional para regular o uso do espaço e assim mitigar os impactos negativos da sua superpopulação.

A fim de discutir planos futuros para a mitigação de detritos espaciais, NASA e ESA começaram a compartilhar informações desde 1987, as duas agências se reúnem a cada dois anos desde 1989, além disso, desde 1993 a ESA vem realizando uma conferência anual, aberta a todos os países interessados que tem missões em órbita, aliás justamente na conferência de 2005 foi formado o IADC (Comitês de Coordenação de Detritos Espaciais Interagências), em que os 13 países mais ativos

atualmente em quantidade de tecnologia e missões que enviam espaço e cuja missão é encontrar projetos de mitigação de detritos espaciais e trabalhar em grupos especializados para medir, rastrear e catalogar os diferentes detritos. As principais diretrizes internacionais que regulamentam o uso do espaço e dão diretrizes para sua correta administração em termos de gestão de risco de detritos espaciais são (NASA STANDARD, 2018):

- Interagency Space Debris Coordination Committee (IADC) Space Debris Mitigation Guidelines (2002 and revised 2007).
- European Code of Conduct for Space Debris Mitigation, including (Italian Space Agency (ASI), the British National Space Centre (BNSC), the French Space Agency (CNES), the German Aerospace Agency (DLR) and the European Space Agency (ESA) (2004)
- UN COPUOS Space Debris Mitigation Guidelines (2007).
- International Telecommunications Union (ITU) Recommendation ITU-R S.1003.2 (12/2010) Environmental Protection of the Geostationary-Satellite Orbit.
- UN COPUOS Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities (2019).
- International Organization of Standardization ISO 24113 :2019 Space Systems: Space Debris Mitigation Requirements (2011, updated 2019).
- Space Safety Coalition Best Practices for the Sustainability of Space Operations (2019).

As diretrizes e regulamentos que as diferentes agências propõem se resumem em: evitar o lançamento de destroços durante as operações normais das missões, evitar a ruptura de naves espaciais e satélites, evitar a destruição intencional, remover as naves fora de serviço e etapas de veículos lançadores para órbitas protegidas uma vez que sua vida útil termina, melhorar as ações para mitigar o risco de colisões com outros objetos espaciais e controlar o risco para a população humana causado por detritos que reentram na atmosfera da Terra (UNDSETH et al., 2020).

As novas tecnologias da indústria 4.0, como Blockchain, manufatura aditiva, inteligência artificial e internet das coisas, têm permitido reduzir os custos de envio de hardware para o espaço, dando lugar a cada vez mais empresas interessadas em

lucrar e enviar seus projetos para órbita. Os principais projetos planejados para um futuro próximo são a rede de satélites Starlink do Space X, que deve chegar a 42.000 no total e que no início de 2020 já tinha mais de 200 em operação, o Kuiper System Constellation com mais de 3.000 satélites e OneWeb© com mais de 650, dos quais os primeiros já foram lançados (UNDSETH et al., 2020). Essas megaconstelações terão um grande impacto no tráfego aeroespacial porque apenas a implantação de uma delas dobrará ou mesmo triplicará o número atual de satélites em órbita, que é demonstrado na Tabela 2.

Outra tecnologia que vem ganhando força na última década são os Nanosatélites, nos últimos 5 anos mais de 1000 CubeSats foram colocados no espaço, principalmente pelos Estados Unidos e China, ambos principalmente para fins comerciais, veja a Figura 5 , essa situação aumenta o risco de impactos em órbita, uma vez que para reduzir custos e peso, a maioria destes cubosats não são equipados com sistemas de propulsão, o que significa que não podem realizar movimentos evasivos e que ao final de suas vidas úteis não poderão fazer manobras de reentrada na atmosfera da Terra ou eles não poderão ser movidos para órbitas cemitério, onde não há satélites funcionais (UNDSETH et al., 2020).

Com o aumento de objetos no espaço, tanto de detritos espaciais quanto hardware operacional, o risco de colisão tenderá a aumentar significativamente nas próximas duas décadas. No pior dos casos, pesquisas sugerem que a órbita baixa pode se tornar inutilizável, conforme previsto pela Síndrome de Kessler, que diz que colisões entre objetos, ao longo do tempo, podem se tornar autossuficientes, gerando um efeito em cadeia (DRMOLA; HUBÍK, 2018). Outras investigações fornecem números mais exatos. Um estudo realizado pela Swiss Re em 2018, concluiu que um satélite de 200 kg pertencente a uma constelação de 1000 objetos, a uma altura de 1200 km (uma situação semelhante às constelações de OneWeb e SpaceX), poderia experimentar um aumento no risco de colisão com objeto de 1 a 10 cm de 11% a 90%, nos próximos 20 anos. Outro estudo realizado em 2017 pela Universidade de Southampton constatou que somando as mega constelações de satélites que estão previstas para serem lançadas nesta década, o número de colisões em órbita baixa, pode aumentar em até 50%, nos próximos 200 anos (UNDSETH et al., 2020).

O aumento do número de objetos em órbita afeta também outros setores, como astronomia e telecomunicações, devido ao aumento da interferência de rádio, à

sobrecarga no uso de bandas de frequência e à poluição luminosa causada por megaconstelações de satélites.

Atualmente o panorama é que existe um espaço cada vez mais superlotado, tanto por hardware em operação quanto por detritos espaciais, ver Figura 4, aumentando assim os riscos em órbita e levando à criação de políticas de mitigação espacial pelos diferentes países que estão utilizando do espaço (KULU, 2022).

Tabela 2. Satélites em operação por órbita e por país

	Órbita Baixa da Terra	Órbita Média da Terra	Órbita Elíptica	Órbita Geossíncrona	Total
Estados Unidos	754	34	31	188	1007
China	236	26	1	60	323
Federação Russa	97	28	7	32	164
Número total de satélites	1468	132	56	562	2218

(UNDSETH et al., 2020)

Figura 4. Quantidade de Nano-satélites enviados desde 1998

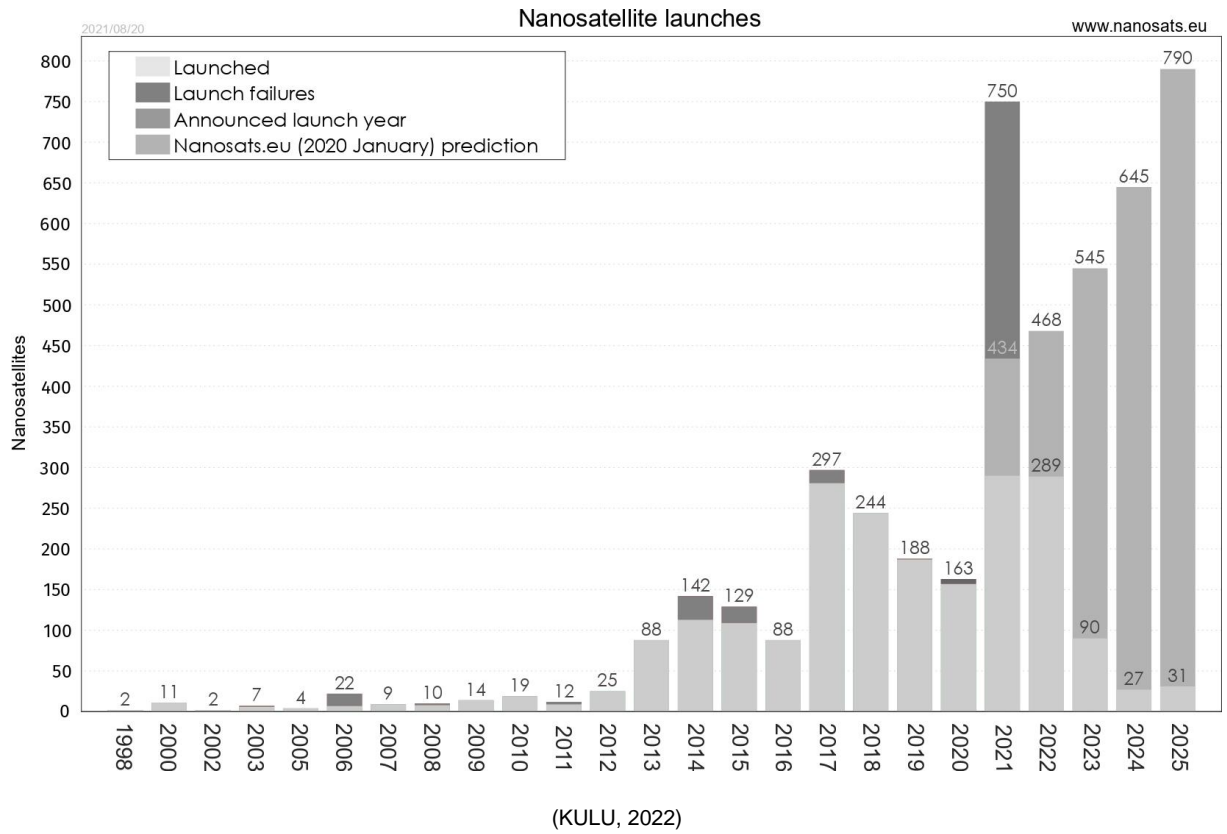
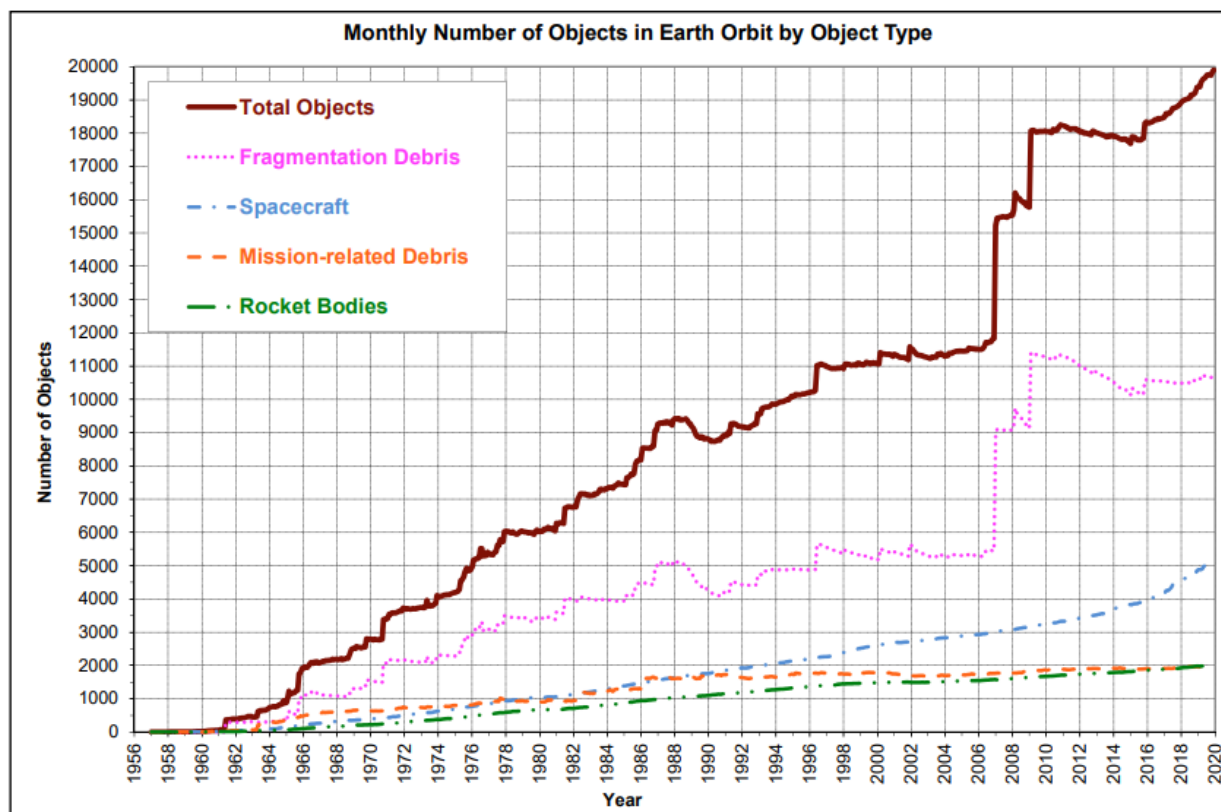


Figura 5. Número de objetos em órbita maior que 10 cm, incluindo hardware operacional



(NASA STANDARD, 2018)

#### 6.4 Impacto socioeconômico dos detritos espaciais

Os esforços feitos por empresas e governos para mitigar o risco envolvido na colocação de projetos em órbita estão focados principalmente na redução do risco de impactos (por exemplo, manobras de blindagem e evasão), medidas para mitigar o risco de detritos espaciais (por exemplo, orbitais limpeza e limpeza de combustível residual) e sistemas de monitoramento e rastreamento de detritos espaciais (UNDSETH et al., 2020).

Cada ação realizada para mitigar os riscos de detritos espaciais acarreta estouros de custo que aumentam a cada ano junto com o número de objetos em órbita, por exemplo; manobras de evasão e projetos de limpeza de espaço implicam em um custo extra que é diretamente proporcional à quantidade de combustível gasto, quanto mais objetos no espaço, mais manobras de evasão devem ser realizadas e, portanto, mais combustível é gasto, aumentando assim o custo total da missão. A organização europeia para a exploração de satélites meteorológicos comunicou, por exemplo, 5



manobras entre 2010 e 2014 para os seus satélites Metop-A e Metop-B. A ESA reportou 1,8 manobras de evasão entre 2009 e 2016, a empresa Sentinel-1A realizou 8 manobras em 2014 e a estação espacial internacional 17 entre 2009 e 2017 (UNDSETH et al., 2020).

A Tabela 3 resume os custos e impactos atuais dos detritos espaciais e a Tabela 4 resume os custos e impactos futuros.

Tabela 3. Principais custos e impactos atuais do lixo espacial

<b>Custo / tipo de impacto</b>	<b>Descrição</b>
Danos relacionados a detritos	Perda de funcionalidade ou perda total de satélites
Projeto de constelação de satélites	Custos associados à blindagem, capacidades de manobra de evasão, módulos yseguros
Custos operacionais	Blackouts durante manobras de evasão de lixo espacial
Limpeza de órbitas	Em órbita baixa, são necessários 3 meses de trabalho com a estação espacial, em órbita alta são necessários subsistemas autônomos
Custos de seguro	Historicamente, os impactos de detritos espaciais têm sido considerados baixos, portanto, o seguro é de baixo custo

(UNDSETH et al., 2020).

Tabela 4. Principais custos e impactos futuros do lixo espacial

<b>Custo / tipo de impacto</b>	<b>Descrição</b>
Perda de aplicativos e funcionalidades exclusivas	Perda da órbita polar onde os satélites de observação têm grande importância, uma vez que existem poucas observações terrestres
Perda de vidas	O aumento do risco de perder vidas na estação espacial internacional
Interrupção de sinais para ciências da terra e pesquisas climáticas	Perda de sinais de satélites meteorológicos, chaves para as previsões climáticas na Terra
Investimento reduzido no setor espacial	Muitos investidores podem preferir investir em aplicações mais seguras em terras

Efeitos distribuídos	Os efeitos de perturbar as órbitas baixas podem ser sentidos mais nas áreas rurais do que nas urbanas e em países com menos economia.
----------------------	---

---

(UNDSETH et al., 2020).

## 6.5 Medição e rastreamento de detritos espaciais

Cada país, que é uma potência espacial, tem um departamento encarregado de tudo relacionado com a gestão e vigilância do lixo na órbita terrestre, algumas das funções destes órgãos são, por exemplo, detectar os diferentes tipos de entulho, catalogá-los, medir a trajetória que se segue, preveem a reentrada na atmosfera e determinam a responsabilidade que cada país tem na quantidade de lixo gerado. Existe uma organização mundial chamada Inter-Agency Space Debris Coordination Committee IADC que se encarrega de coordenar as atividades relacionadas aos problemas gerados por detritos espaciais, a Tabela 5 mostra as diferentes agências que compõem o grupo

Para estudar e catalogar os diferentes detritos encontrados em órbitas baixas, geralmente são usados radares, que têm a capacidade de detectar objetos de até 1 cm de diâmetro, para objetos em órbitas altas são utilizados telescópios ópticos, que são capazes de detectar objetos tão pequenos até 1 metro de diâmetro e quando se trata de estudar objetos menores que 1 cm de diâmetro, as medidas estatísticas são feitas por meio de radares que conseguem detectar objetos de até 2 a 3 mm de diâmetro a uma altura de 380 quilômetros, alguns desses radares são, por exemplo, o Goldstone, o Haystack e o Haystack Auxiliary (HAX) (UNDSETH et al., 2020). Para medir detritos de 1 mm ou menores que não seja possível detectar com radares ou telescópios, a NASA faz medições no local de materiais que foram enviados ao espaço e trazidos de volta à Terra, por exemplo, a instalação de exposição de longa duração (LDEF), o coletor de detritos orbitais (ODC), o coletor de detritos de grande área (LAD-C), o sistema MPAC japonês e o ônibus espacial. Os tamanhos dos buracos deixados pelos impactos são medidos para determinar o tamanho dos objetos que estavam naquele ambiente e amostras de detritos são tomadas para determinar a composição do material que os detritos espaciais possuíam.

Tabela 5. Agencias que pertencem ao grupo IADC

AGÊNCIA	PAÍS	ACRÔNIMO
Agenzia Spaziale Italiana	Italia	ASI
Centre National d'Etudes Spatiales	Francia	CNES
China National Space Administration	China	CNSA
Canada Canadian Space Agency	Canadá	CSA
German Aerospace Center	Alemania	DLR
European Space Agency	Unión Europea	ESA
Indian Space Research Organization	India	ISRO
Japan Aerospace Exploration Agency	Japón	JAXA
Korea Aerospace Research Institute	Corea del Sur	KARI
National Aeronautics and Space Administration	EEUU	NASA
Rusian Federal Space Agency	Russia	ROSCOSMOS
State Space Agency of Ukraine	Ucrania	SSAU
UK Space Agency	Inglaterra	UK Space

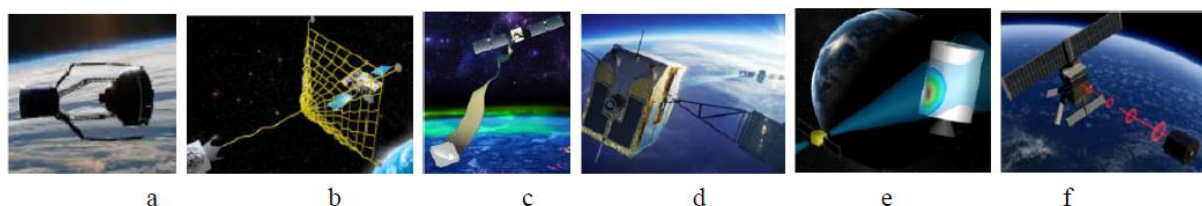
(NASA STANDARD, 2018)

## 6.6 Técnicas de remoção de detritos espaciais

Uma das formas de mitigar o impacto gerado pelos detritos espaciais é a limpeza das diferentes órbitas, por meio da implementação de técnicas de remoção de detritos espaciais. Já existem várias empresas privadas que têm iniciativas utilizando diferentes técnicas. Até agora, as tecnologias mais estudadas (como mostra a Figura 6) para a remoção de detritos espaciais são classificadas em duas categorias assim (SAPATY, 2021):

- Contato (braços robóticos, rede de fixação, cinto eletrodinâmico).
- Os sem contato, como feixe de plasma ejetado do satélite para transmitir uma força aos detritos, desacelerando-os.

Figura 6. Diferentes técnicas para remoção de detritos espaciais

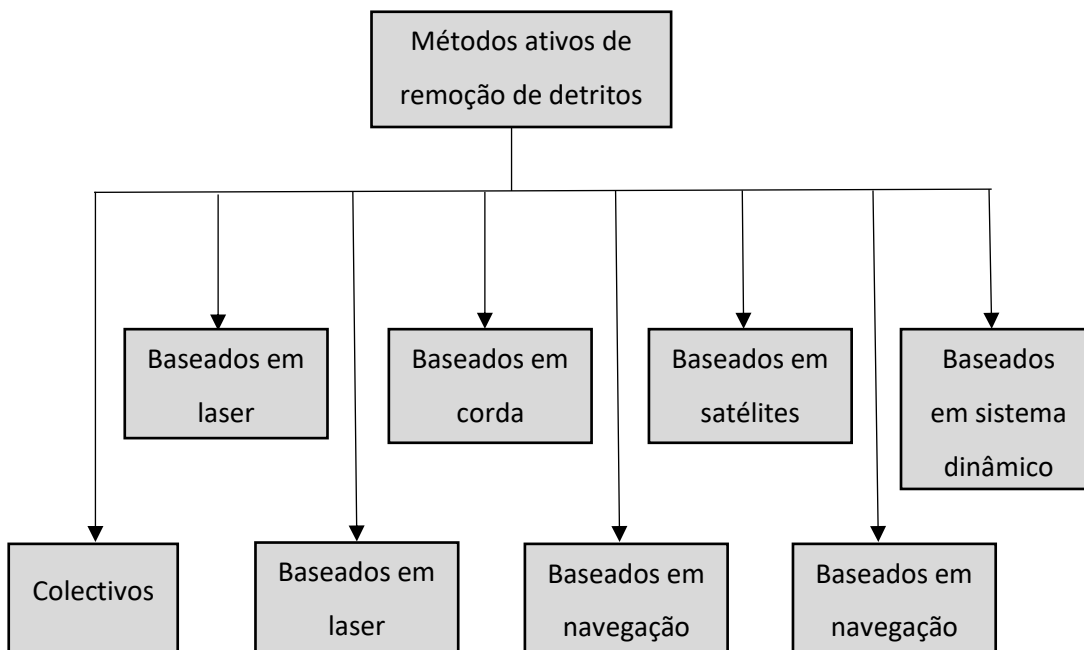


Técnicas ativas para remoção de detritos espaciais: a) aperto mecânico, b), rede c), d) laço, e) laser, f) feixe de íons, g) energia dirigida. (SAPATY, 2021)

De acordo com (MARK; KAMATH, 2019), também podemos classificar as diferentes técnicas de remoção de detritos espaciais em: Coletivas, baseadas em laser, baseadas em feixe de íons, baseadas em amarração, baseadas em velas solares, baseada em satélites, não convencionais e baseadas em sistemas dinâmicos. O conceito de métodos coletivos, envolve vários métodos de remoção ativa de detritos espaciais que foram agrupados, os métodos de laser são compostos por um sistema de laser que atira no objeto em órbita, jatos de plasma do solo para retardá-los. Os avanços na tecnologia do laser tornam esses métodos economicamente eficientes. Este método permite a remoção de pequenos e grandes detritos, o método de feixe de íons emite feixes de plasma em direção ao alvo, para direcionar uma força sobre ele. Este método só pode operar em uma faixa próxima devido aos efeitos da divergência do feixe e erros de pontaria, os métodos baseados em amarração, propõem um conceito de coleta de elétrons usando um ânodo de fio de bire para as amarrações, expondo a extremidade do ânodo ao plasma como emissor, os métodos de navegação, propõem exorbitar os destroços utilizando o vento solar, porém este método pode ser perigoso, pois a frenagem aerodinâmica pode empurrar o satélite ou objeto na direção oposta e acabar prolongando sua vida em órbita, métodos baseados em satélite propõem o uso de microssatélites com braços robóticos extensíveis para captura de detritos espaciais, no entanto, manobras complexas devem ser levadas em conta para colocá-los na órbita do objeto a ser capturado. Os métodos não convencionais, como o próprio nome indica, são os menos comuns e envolvem manobras inovadoras e inusitadas, por exemplo, existe o método conhecido como expansão do sistema de espuma que consiste em lançar espuma de uma plataforma até o objeto a ser capturado, de forma que quando a espuma adere à superfície dos detritos a serem capturados, ela aumenta de volume e os cobre, os métodos baseados em sistemas dinâmicos envolvem a dessorbitação de detritos espaciais, alterando os

parâmetros por vários distúrbios, naturais ou artificiais. Um resumo dos diferentes métodos pode ser visto na Figura 7.

Figura 7. Diferentes técnicas para remoção de detritos espaciais



(MARK; KAMATH, 2019)

## 7 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para encontrar detritos espaciais existem inúmeras técnicas, com diferentes graus de eficiência e metodologia matemática, a técnica escolhida depende principalmente do tipo de órbita a ser analisada, do tipo de movimento do telescópio em relação ao céu (seguindo os objetos ou estática), a quantidade de imagens ou dados disponíveis, a capacidade de computação e do orçamento. Nesta pesquisa foram analisadas várias metodologias que estão expostas a seguir e ao final concluiu-se que a melhor forma de trabalhar era tratando uma imagem por vez. Ao tratar uma imagem por vez, ao invés de um conjunto, o algoritmo trabalha mais rápido, não requer grandes capacidades de computação ou de tempo e o algoritmo acaba sendo de baixo orçamento, pois pode ser facilmente replicado em qualquer computador desktop.

Também foram analisadas metodologias que utilizam redes neurais, mas se encontrou que para utilizar essas técnicas são necessárias muitas imagens, pelo menos 30 mil para fazer o treinamento correto e também grandes capacidades computacionais, uma vez que, uma rede neural a ser treinada pode levar semanas e até meses para ser concluída com capacidades de computação padrão, como a usada neste trabalho, onde foi usado um notebook que possui 8 Gb de RAM, 1 tera de disco rígido e um processador Intel Core i5. Tendo em conta que para este trabalho existia uma base de dados de 1000 imagens, que era necessário que o algoritmo fosse rápido, fácil de replicar e econômico em termos de orçamento. Optou-se, então, por utilizar uma metodologia baseada na análise direta das imagens por meio de uma máscara que analisa uma imagem por vez.

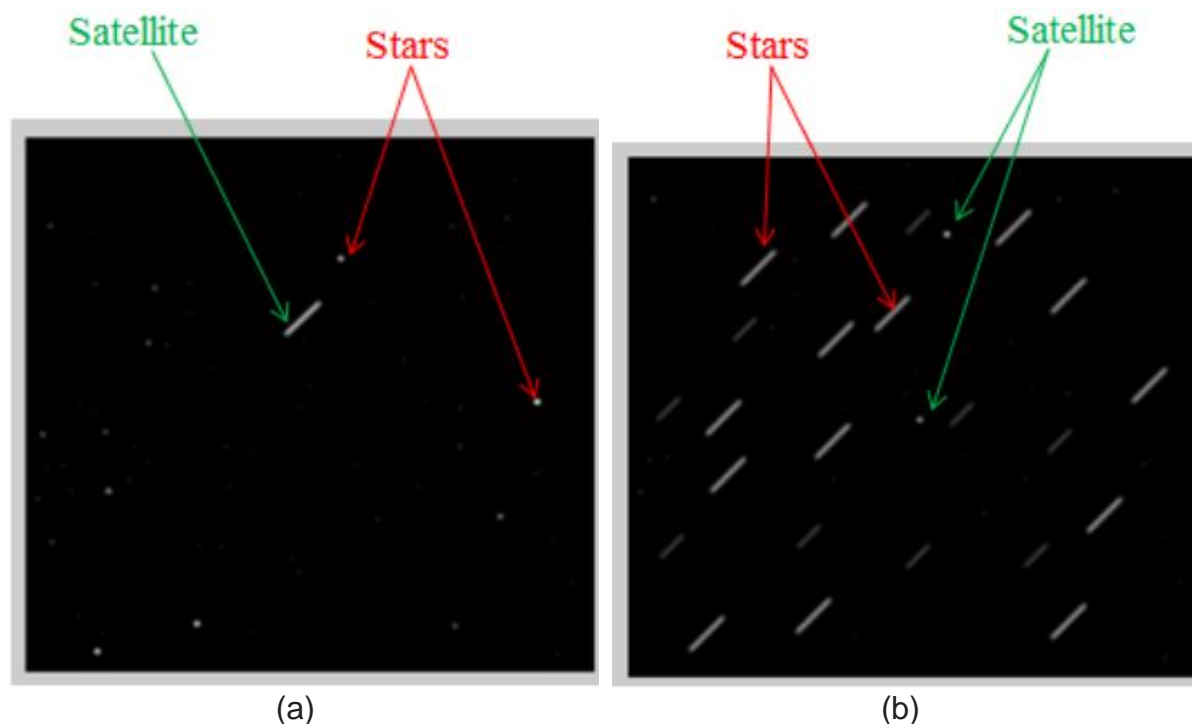
Os diferentes conceitos que devem ser levados em consideração na detecção de detritos espaciais em imagens adquiridas por um dispositivo de acoplamento de carga (CCD) são explicados a seguir.

### 7.1 Modos de monitoramento do céu por telescópios para encontrar detritos espaciais

Existem duas formas de rastrear o céu em busca de detritos espaciais, uma delas é o Sideral Star mode (SSM), ou seja, modo de rastreamento sideral e a outra é o Track Rate Mode (TRM), ou seja, modo de taxa de rastreamento, que é mais eficiente nas órbitas GEO e mais amplamente utilizado (SAMADZADEGAN; ALIDOOST, 2013). Na Figura 8 pode-se ver a diferença entre as duas formas de

rastrear o céu, no modo SSM as estrelas aparecem como pontos e os objetos como pequenas linhas, no modo TRM as estrelas aparecem como pequenas linhas e os objetos como pontos.

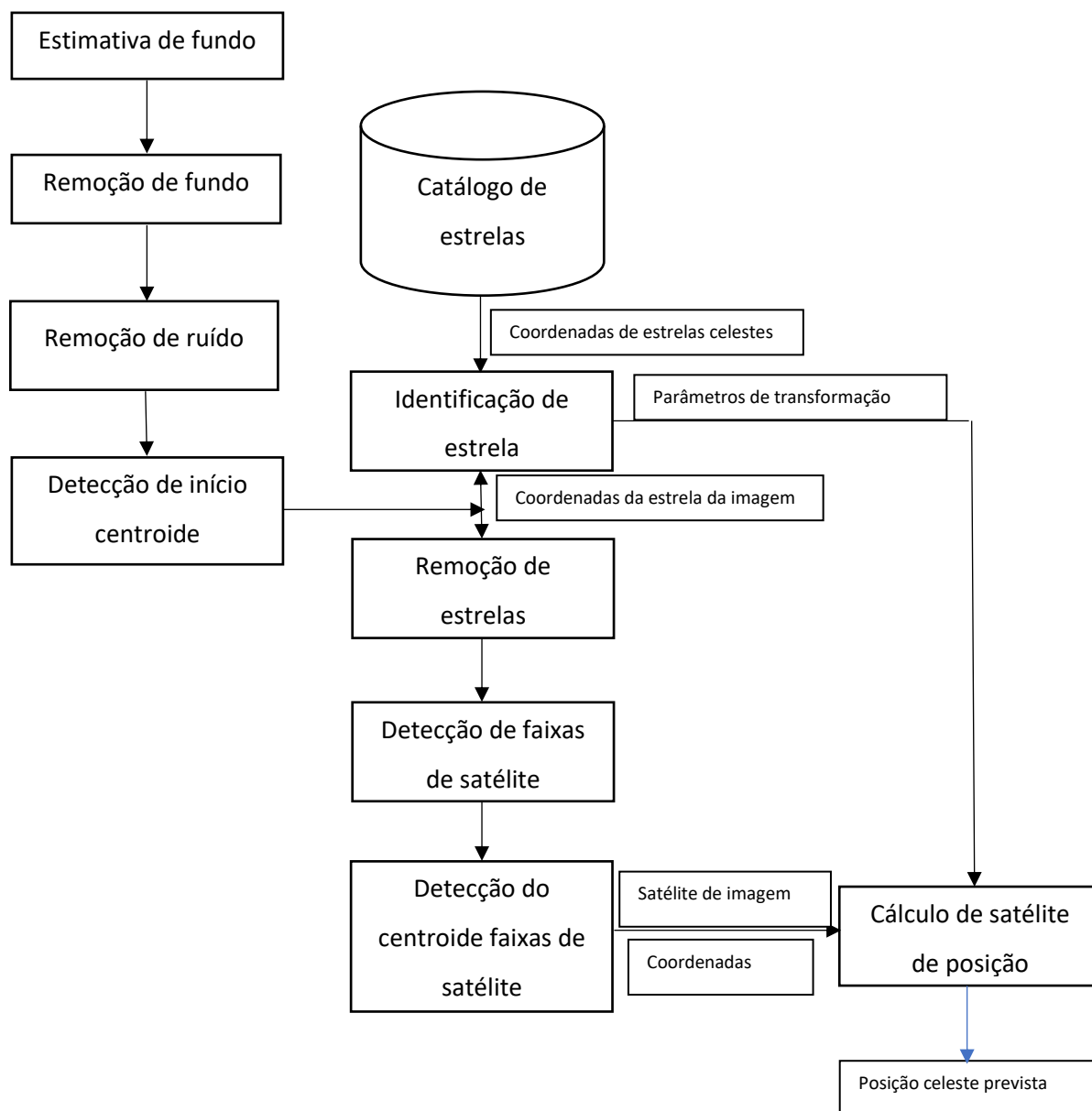
Figura 8. Diferença entre os diferentes modos SSM e TRM



No modo SSM, (a) as estrelas aparecem como pontos e satélites como pequenas linhas, no modo TRM (b) as estrelas aparecem como pequenas linhas e satélites como pontos (SAMADZADEGAN; ALIDOOST, 2013).

Dependendo da forma como uma imagem foi adquirida, SSM ou TRM, são os métodos usados para encontrar informações relevantes sobre ela, como satélites ou detritos espaciais. A Figura 9 mostra o processo geral para extrair satélites e detritos espaciais de uma imagem adquirida no modo SSM e a Figura 10 mostra o processo geral para uma imagem adquirida no modo TRM. Estes métodos podem ser divididos em três grandes grupos, algoritmos de correção de imagem, que são usados para remover o ruído e o fundo das imagens, algoritmos de detecção de estrelas que são usados para identificar estrelas no sistema de coordenadas celestes e finalmente algoritmos de detecção de satélites, que são usados para extrair a posição dos satélites lixo espacial (SAMADZADEGAN; ALIDOOST, 2013).

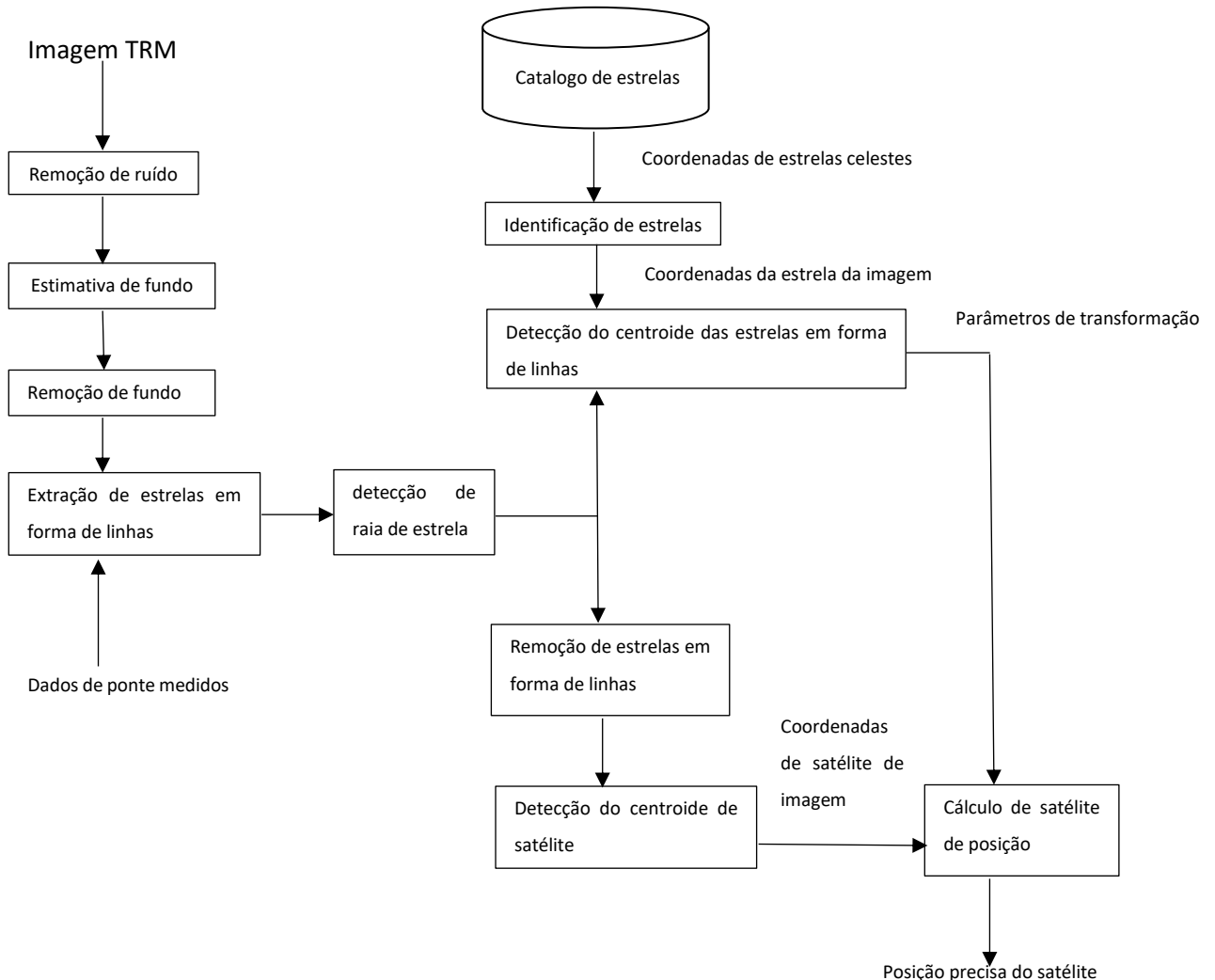
Figura 9. Processo geral para extrair satélites ou detritos espaciais de imagens adquiridas no modo SSN



(SAMADZADEGAN; ALIDOOST, 2013)



Figura 10. Processo geral para extrair satélites ou detritos espaciais de imagens adquiridas no modo TRM



(SAMADZADEGAN; ALIDOOST, 2013)

## 7.2 Tipos de ruído em imagens digitais

O ruído é uma variação visível e aleatória da intensidade dos pixels de uma imagem que afeta a qualidade da imagem e, portanto, a informação aí representada. O ruído é causado enquanto a imagem é capturada ou transmitida. As principais fontes de ruído em uma imagem são: a) o sensor de imagem, pois pode ser afetado pelas condições ambientais durante a aquisição da imagem, b) nível de luz insuficiente, c) variações no nível de temperatura do sensor, d) interferência no canal de transmissão, e) partículas de poeira (HAMBAL et al., 2017). Existem muitos tipos de ruído, mas alguns dos mais comuns são; o gaussiano (Gaussian Noise), o de sal e pimenta (Salt

and Pepper), o de Poisson (Poisson noise), e o de salpicos (Speckle Noise) (JASIM et al., 2019).

### 7.2.1 Ruído Gaussiano

Um dos ruídos mais comuns em imagens digitais é o gaussiano, veja a Figura 11, que se caracteriza por adicionar a cada pixel das imagens um valor de distribuição gaussiana de média zero. No ruído gaussiano, todos os pixels se desviam de seus valores originais seguindo uma curva gaussiana. Para cada pixel da imagem com intensidade  $O_{ij}$  ( $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$ ) para uma imagem de tamanho  $M \times N$ . O pixel da imagem com ruído  $X_{IJ} = O_{ij} + G_{ij}$ . Cada valor de ruído  $G$  é extraído de uma distribuição Gaussiana de média zero (V.R; VANATHI; KANAGASABAPATHY, 2010).

Figura 11. Exemplo de imagem com ruído gaussiano



(a) Imagem original



(b) imagem com ruído gaussiano

(V.R; VANATHI; KANAGASABAPATHY, 2010)

### 7.2.2 Ruído de sal e pimenta

O ruído de sal e pimenta é uma ocorrência esparsa de pixels brancos e pretos. Este tipo de ruído é causado por defeitos do sensor da câmera, falhas de software ou hardware enquanto a imagem está sendo capturada. Devido a esse comportamento

de ruído, é comum que apenas algumas partes da imagem sejam afetadas enquanto outras permanecem intactas, conforme mostrado na Figura 12. Os valores de ruído de sal e pimenta variam entre os valores mínimo e máximo de intensidade de cor. Para em uma imagem de 8 bits, o valor comum de sal é 0 ou muito próximo e para pimenta 255 ou próximo a esse valor (AZZEH et al., 2018).

Figura 12. Exemplo de imagem com ruído de Sal e Pimenta



(a) Imagem original



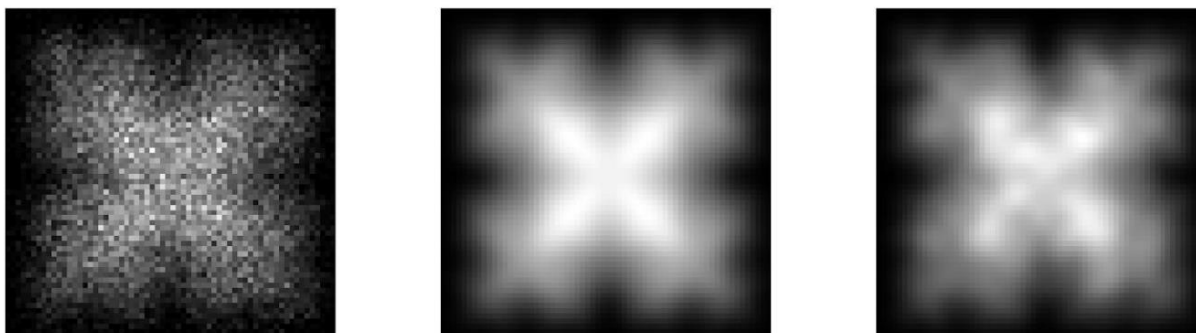
(b) imagem com de sal e pimenta

(AZZEH et al., 2018).

### 7.2.3 Ruído Poisson

O ruído com distribuição de Poisson, também conhecido como ruído de Shot, é muito semelhante ao Gaussiano, geralmente ocorre em imagens de raios-X, ultrassom e ressonância magnética, como é mostrado na Figura 13. Este ruído afeta principalmente áreas da imagem com baixa intensidade, onde o ruído é geralmente mais alto do que o sinal real (THAKUR et al., 2016).

Figura 13. Exemplo de imagem com Ruído Poisson

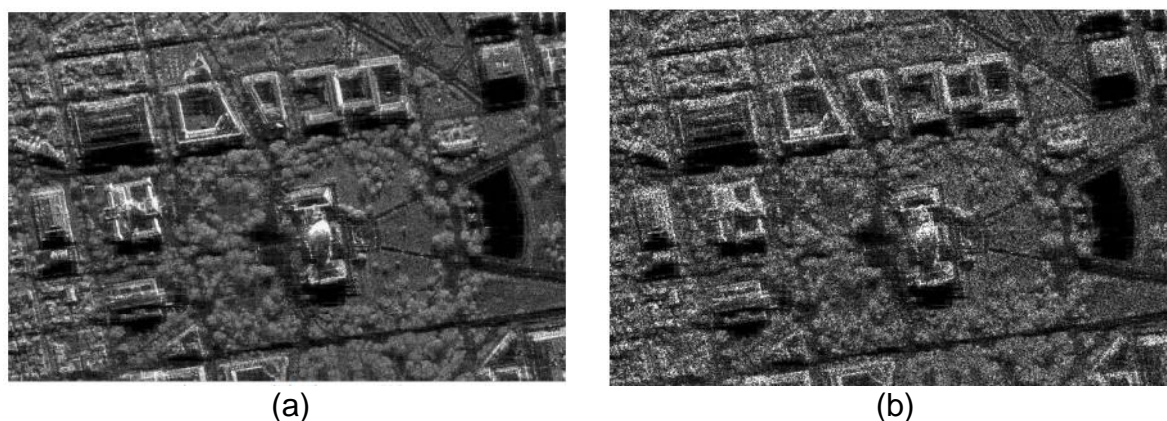


(THAKUR et al., 2016)

### 7.2.4 Speckle Noise

Speckle Noise (ruído de manchas), mostrado na Figura 14, é um padrão de ruído granular, especialmente encontrado em imagens de satélite. A origem deste tipo de ruído deve-se a causas aleatórias, por exemplo, interferência entre os retornos coerentes emitidos por um grande número de espalhadores presentes na superfície terrestre, na escala do comprimento de onda da onda de radar incidente. Em outras palavras, o ruído Speckle é equivalente ao ruído sal e pimenta presente nas imagens de radar (SINGH; SHREE, 2016).

Figura 14. Speckle Noise em imagens de satélite



A Figura 14 (a) mostra uma imagem de satélite sem ruído, a Figura 14 (b) mostra uma imagem de satélite com ruído speckle (SINGH; SHREE, 2016).

## 7.3 Remoção de ruído

A remoção de ruído é uma tarefa muito importante no processamento de imagens digitais, pois esse processo afeta diretamente a qualidade das imagens e

pode levar à perda de informações relevantes. Consiste em uma série de cálculos matemáticos nas imagens com o objetivo de melhorar sua qualidade e resgatar as informações relevantes ali apresentadas. Dependendo do tipo de ruídos e a eficiência das diferentes técnicas para removê-los. Neste estudo de (JASIM et al., 2019), conforme mostrado na Figura 15, é mostrada uma comparação de alguns dos tipos de ruído mais comuns, como o Gaussiano (Gaussian Noise), de Sal e Pimenta (Salt and Pepper Noise), de Poisson (Poisson Noise) e de Speckle (Speckle Noise), vs alguns dos filtros mais usados, como o filtro Médio (Median filter), o Mediana Median filter) e o Wiener (Wiener filter). Após a remoção do ruído, o desempenho de cada filtro foi calculado usando os critérios de erro quadrático médio (MSE), erro absoluto médio (MAE) e relação sinal / ruído de pico (PSNR). Conforme demonstrado neste estudo, observa-se que o filtro mediano foi o que melhor removeu o ruído gaussiano e o filtro Wiener apresentou o melhor desempenho removendo os ruídos restantes.

Figura 15. Comparação entre alguns dos tipos mais comuns de ruído e filtros

Nome do filtro	Ruído Gaussiano			Ruído de sal e pimenta			Ruído de Poisson			Ruído de manchas		
	MSE	MAE	PSNR	MSE	MAE	PSNR	MSE	MAE	PSNR	MSE	MAE	PSNR
<b>Filtro mediano</b>	148	522330	26.4	2210.6	281858	14.7	186.2	396101	16.4	1386	945620	17
<b>Filtro Wiener</b>	231.9	701180	24.5	1114	390229	17.7	661.7	107303	10	1115	1180791	18
<b>Filtro médio</b>	153.7	596778	26.2	1955	463635	15.2	971.9	979604	18.2	1466	1147561	16.4

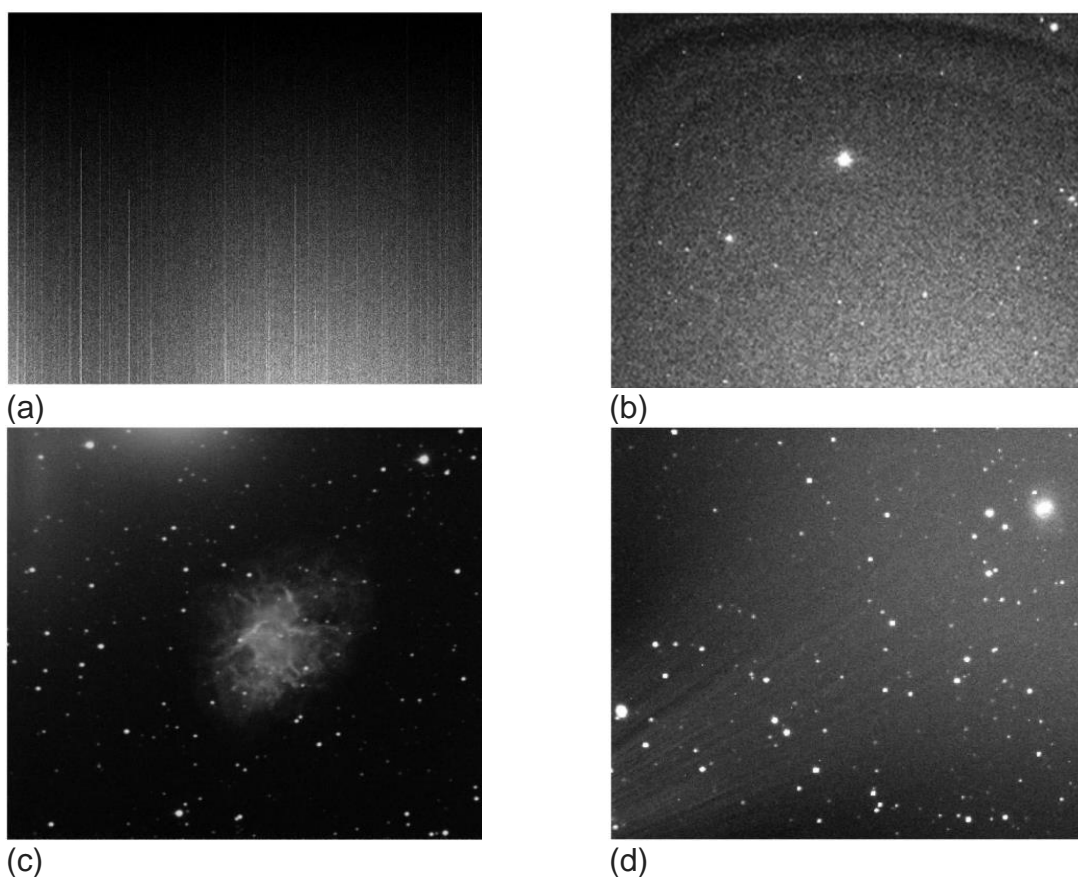
(JASIM et al., 2019)

#### 7.4 Estimativa de fundo

A estimativa de fundo é uma etapa fundamental nas técnicas de processamento digital de imagens. São importantes porque ajudam a reduzir a detecção errônea de objetos devido às compensações instrumentais e não instrumentais que costumam aparecer neste tipo de imagens. As principais fontes das variações de fundo das imagens, devido aos instrumentos, são devidas principalmente a problemas de não uniformidade do CCD, variações de temperatura nos detectores ou a eletroluminescência do CCD. Esses tipos de problemas hoje são mitigados por

novas estruturas e designs de CCD, calibração adequada e frio extremo com ambientes refrigerados, onde os telescópios estão localizados. As fontes não instrumentais de variação de fundo são principalmente devido ao brilho do céu, devido à poluição luminosa das cidades. As estimativas são ainda mais difíceis em comprimentos de onda como o infravermelho, onde a emissão do fundo do céu e a radiação do telescópio dependem do tempo e do espaço. Outras causas que tornam a estimativa de fundo complexa são objetos astronômicos com estruturas complexas, como nebulosas, que têm variações nos gradientes de intensidade que podem ser erroneamente detectados como objetos de interesse (POPOWICZ; SMOLKA, 2015). A Figura 16 mostra alguns dos tipos mais comuns de variações de fundo em imagens astronômicas, devidos a problemas operacionais do CCD.

Figura 16. Exemplos de variações de fundo devido a problemas operacionais de CCD



Gradiente no quadro de polarização devido ao acúmulo de carga térmica durante a fase de leitura, b) Condensação de umidade na borda do sensor de imagem CCD, c) Brilho da eletro-luminescência do amplificador no canto superior esquerdo d) luz perdida de Marte, (POPOWICZ; SMOLKA, 2015).

## **7.5 Remoção de fundo das imagens**

A remoção do fundo das imagens, é uma das aplicações mais úteis em visão computacional, é feita com o objetivo de remover características indesejáveis, como defeitos ou ruídos e deixar apenas os sinais de interesse, uma das técnicas mais utilizadas para remover o fundo é a binarização, que cria limites de detecção para dividir os pixels da imagem em objetos ou fundo. Existe outra técnica chamada limiar, que usa as características dos pixels vizinhos, como a média ou o desvio padrão, para classificá-los. Existem outras técnicas, como métodos baseados em fuzzy que usam operadores de lógica fuzzy para mapear níveis de cinza em uma imagem, o aprimoramento de operador fuzzy usa características de pesagem que são proporcionais a algumas características da imagem, como intensidade média para aumentar o contraste. Existem também métodos baseados em histograma que modificam o alcance e o contraste de uma imagem de forma que a intensidade do histograma tenha a forma desejada. Os métodos baseados na morfologia matemática consistem na remoção de padrões geométricos, utilizando um elemento estrutural semelhante em forma aos padrões geométricos a serem removidos, por exemplo estrelas ou ruído. Existem duas operações principais que adicionam ou removem pixels, são chamadas de dilatação e erosão, a partir delas são criadas outras operações morfológicas que possuem funcionalidades e comportamentos distintos, sendo as principais: Abrir, fechar e TopHat. Os métodos baseados em algoritmos genéticos são úteis para separar características complexas, o algoritmo permite uma busca robusta sem aprisionar em extremos locais. O algoritmo genético permite uma busca robusta para encontrar o ótimo global. No entanto, existem alguns problemas com o uso de um algoritmo genético. A primeira é que o procedimento de otimização é um pouco lento, pois cada avaliação de aptidão requer a comparação de duas imagens. O segundo problema é a incapacidade do algoritmo de selecionar automaticamente os filtros apropriados para o procedimento de otimização (GANBOLD, 2015).

## **7.6 Processo de detecção de traços na imagem**

Uma vez que o ruído da imagem é tratado e o fundo da imagem é extraído, o processo de separação e extração das estrelas e objetos (satélites ou detritos espaciais) nas imagens começa, as técnicas a serem utilizadas dependem do modo em que as imagens foram adquiridas, seja em SSM ou TRM, conforme mostrado na

Figura 8. Neste trabalho enfocamos as técnicas utilizadas para tratar as imagens TRM, uma vez que os dados que foram adquiridos foram dessa forma. Um dos métodos mais destacados e estudados neste projeto foi a morfologia matemática, que, graças à sua operação de transformação TopHat, apaga as estrelas com um elemento estrutural. Essa técnica é explicada com mais detalhes no próximo capítulo.

### 7.6.1 Morfologia Matemática

A Morfologia Matemática é um campo de estudo que analisa e processa formas geométricas, incorpora teoria de conjuntos, teoria de malhas, topologia e funções aleatórias. Para tratar as imagens, é necessário um elemento estrutural de qualquer geometria, composto por um conjunto de pixels com centro fixo. Durante as operações de transformação, toda a imagem é escaneada pelo elemento estrutural, que aplica operações de adição ou subtração de pixels por meio das duas operações principais da morfologia matemática ou combinação delas (SUN; ZHAO, 2012). As operações básicas da morfologia matemática aplicadas a uma imagem  $f(x)$  são a erosão e a dilatação. Essas operações são descritas nas equações 1 e 2 e são definidas em termos do elemento estrutural SE como:

$$D^{SE}(F(x)) = \max \{f(x + y) : y \in SE\}, \text{dilatação} \quad (1)$$

$$E^{SE}(F(x)) = \min \{f(x + y) : y \in SE\}, \text{erosão} \quad (2)$$

A operação de dilatação funciona como um filtro máximo, que atribui o valor máximo dos valores dos pixels no elemento estrutural, a erosão, funciona como um filtro mínimo que leva os valores mínimos de cada pixel no elemento estrutural. A operação de abertura é outra das mais utilizadas em morfologia matemática, esta operação aplica primeiro a erosão e depois aplica a dilatação. Após a transformação, os detalhes mais brilhantes com geometrias menores que o elemento estrutural, são retirados da imagem e os elementos com geometrias semelhantes para o elemento estrutural permanecem (SUN et al., 2015), a abertura é definida como (equações 3):

$$O^{SE}(f(x)) = D^{SE}(E^{SE}(f(x))) \quad (3)$$



A operação de encerramento ou fechamento é definida como a erosão da dilatação e permite a retirada de pequenos furos na imagem, é representada como (equações 4):

$$C^{SE}(f(x)) = E^{SE}(D^{SE}(f(x))) \quad (4)$$

Existe outra operação chamada de transformação TopHat, que primeiro aplica a operação de abertura à imagem e, em seguida, subtrai a imagem tratada do original, a transformação TopHat remove sinais semelhantes e preserva sinais com geometria diferente do elemento estrutural esta operação é definida como (equações 5):

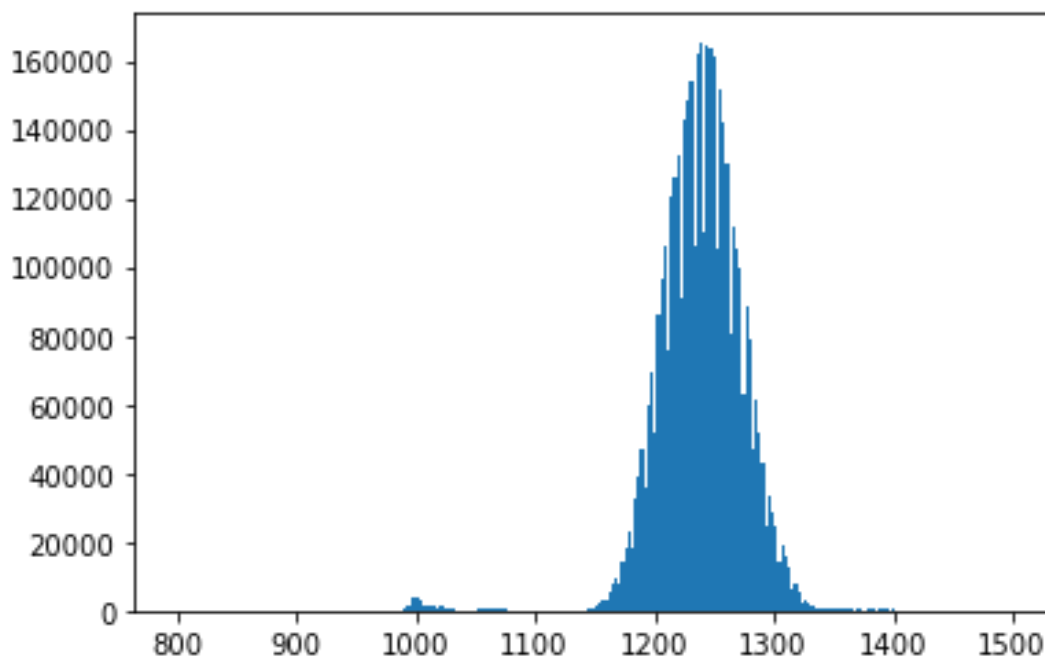
$$TH^{SE}(f(x)) = f(x) - O^{SE}(f(x)) \quad (5)$$

Como o conjunto de imagens apresentavam padrões geométricos semelhantes, onde as estrelas são vistas na forma de pequenos traços e os satélites e outros objetos são vistos como pontos na imagem, optou-se por aplicar um processo de morfologia matemática. Primeiro optou-se por aplicar um processo de binarização para trazer as imagens para a escala de preto e branco e, em seguida, aplicar um processo de transformação TopHat para apagar as estrelas e deixar apenas os objetos redondos, candidatos a lixo espacial

### 7.6.2 Processo de binarização das imagens

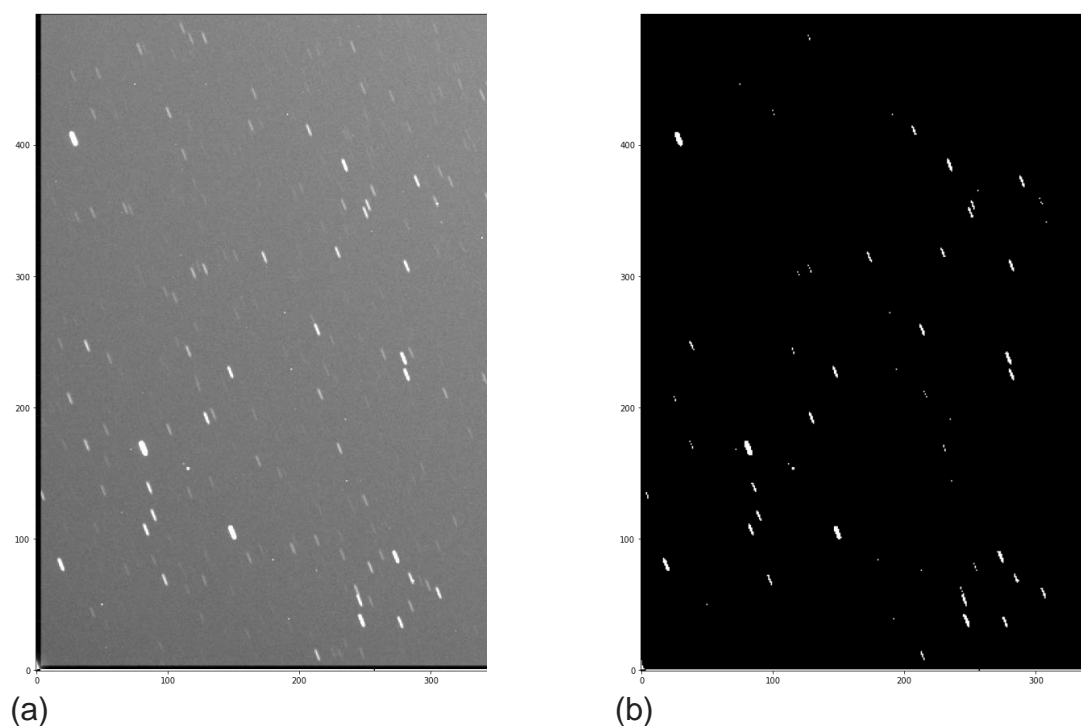
As imagens de teste foram binarizadas de forma que só apresentasse valores entre 0 e 255 na escala de cinza, a morfologia matemática só funciona com imagens binarizadas. Para binarizar a imagem, uma função da biblioteca OpenCV chamada `cv2.THRESH_BINARY` foi usada. O que a função faz é que se os valores de intensidade de um pixel forem maiores que um limite definido, ele os leva a 255 (branco), caso contrário, leva-os a 0 (preto). Para saber o limite de detecção que as imagens devem ter e poder binarizá-las, foi encontrado o histograma, como mostra a Figura 17. Este valor do histograma é muito semelhante para todas as imagens, exceto para aquelas com nuvens já que os valores de cinza diferem muito, no entanto, para este caso, as imagens com nuvens não foram levadas em consideração para encontrar o histograma e optou-se por utilizar apenas uma imagem, tirada com céu limpo.

Figura 17. Histograma da imagem de teste com céu limpo



As imagens trabalhadas são de 16 bits, por isso os valores tonais que podem assumir variam de 0 a 65536 na escala de cinza (eixo X). O histograma mostra que a maioria dos valores está no intervalo entre 1150 e 1350, os valores mais próximos de 0 estão próximos do preto e os valores mais próximos de 65536 estão próximos do branco. Levando isso em consideração, o limite de detecção que foi inserido na função `cv2.THRESH_BINARY` foi de 1350 a 1450. Os valores superiores a esse limite foram considerados para o branco e os demais para o preto. A imagem original é mostrada na Figura 18a e o resultado da imagem binarizada é mostrado na Figura 18b.

Figura 18. Imagem original e imagem após a aplicação da binarização



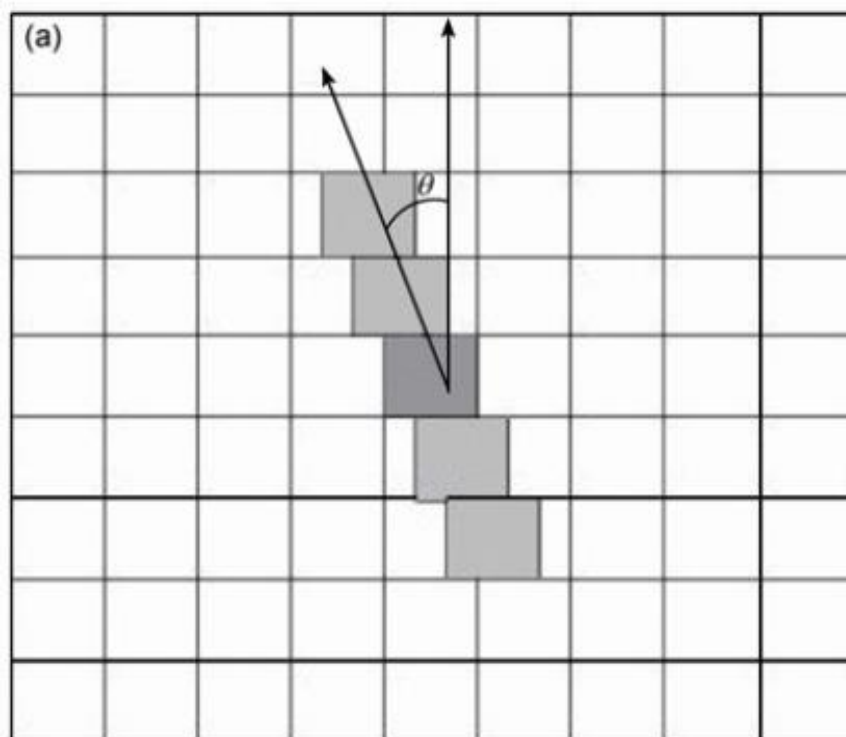
### 7.6.3 Aplicação da transformação TopHat

A transformação TopHat preserva apenas os sinais com geometria diferente do elemento estrutural SE, por isso optou-se por aplicá-la com um elemento estrutural na forma de traços, semelhante às estrelas que aparecem nas imagens e com o mesmo ângulo de inclinação (SUN; ZHAO, 2012).

Para o elemento estrutural SE, um retângulo de 1 pixel de largura foi escolhido e o comprimento foi calculado da seguinte forma:  $X2 = X1/3$  (LAAS-BOUREZ et al., 2009).

Para o cálculo do ângulo de inclinação  $\theta$ , do elemento estrutural SE, Figura 19, embora tivesse a equação proposta por (SUN et al., 2012), optou-se encontrá-lo por meio de ensaio e erro, experimentando ângulos diferentes e fazendo testes diferentes para ver o melhor comportamento na varredura da imagem.

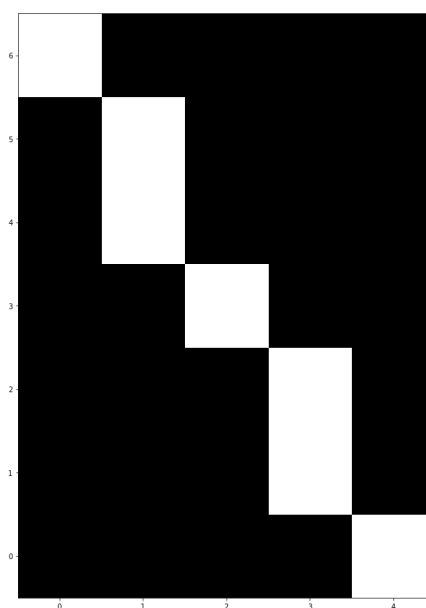
Figura 19. Elemento estrutural e ângulo de inclinação



A Figura 19 representa um elemento estrutural linear SE e o ângulo seu respectivo ângulo de inclinação (SUN et al., 2012).

Para simular o elemento estrutural dentro do ambiente Jupyter, o algoritmo linear de Bresenham foi usado (KALEEM et al., 2021), o resultado é exibido na Figura 20.

Figura 20. Elementos estruturais SE



Autoria própria

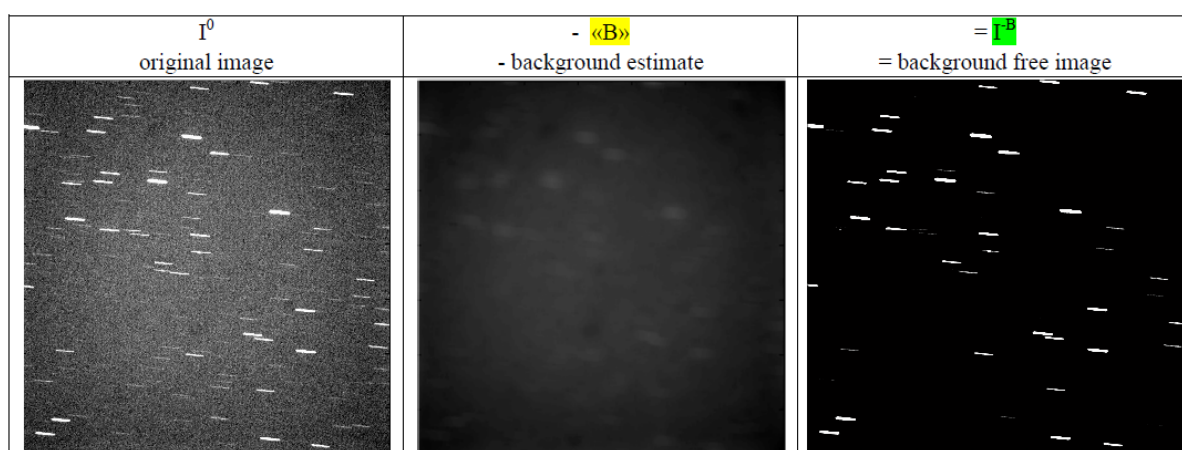
Após encontrar o elemento estrutural, a função OpenCV `cv2.MORPH_TOPHAT` foi usada para aplicar as diferentes operações morfológicas às imagens de teste, mas após várias interações não foi possível obter o resultado desejado. Geralmente, o elemento estrutural SE removeu todas as estrelas, mas por sua vez também apagou os satélites e outros objetos em uma forma circular dentro da imagem.

Embora esta metodologia possa levar a bons resultados explorando outros elementos estruturais, decidiu-se pesquisar outros métodos.

Outro dos métodos mais eficientes encontrados na literatura para encontrar satélites e/ou detritos espaciais em imagens adquiridas no modo TRM, é o proposto por (LEVESQUE, 2011), onde, como mostra a Figura 21, o fundo das imagens é extraído e em seguida as estrelas que aparecem em forma de linhas são filtradas, deixando apenas o ruído residual e os possíveis satélites ou detritos. Nesse método, as imagens são consideradas como uma equação, onde a imagem original ( $I^0$ ) é considerada a soma do fundo (B) mais as estrelas em forma de linhas (S), mais os objetos ou detritos espaciais (O), também chamados de (RSO), mais o ruído (n).

$$I^0 = B + S + O + n \quad (1)$$

Figura 21. Estimativa e remoção do fundo



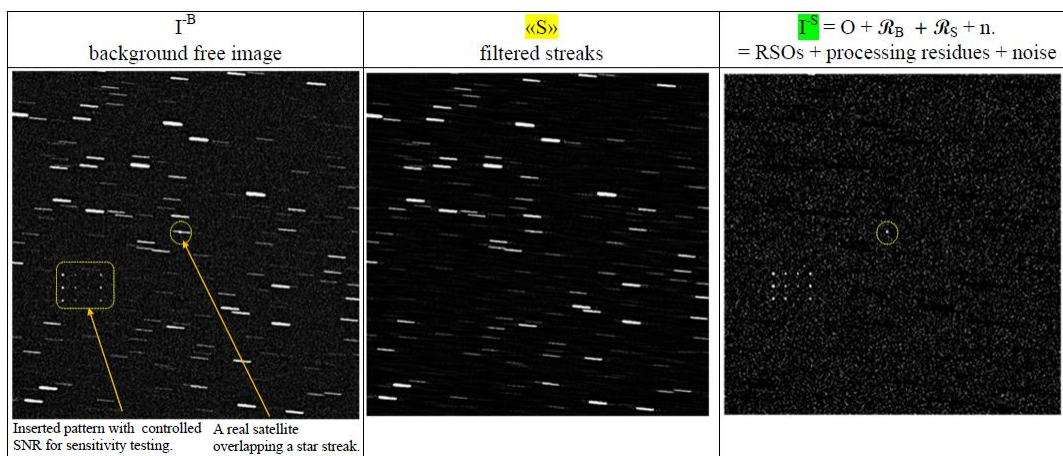
(LEVESQUE, 2011)

A imagem livre do fundo é chamada de  $I^B$  e a imagem final é chamada de  $I^S$  e esta é igual aos objetos encontrados na imagem, mais o ruído residual da estimativa do

fundo, mais o ruído residual da filtragem das estrelas, mais o ruído restante, como é mostrado na Figura 22.

Existem estrelas suficientes na imagem para extrair automaticamente os parâmetros. Como todas as estrelas são semelhantes a pequenos retângulos, o perfil da transformada de Fourier é determinado pela função  $\text{Sen}x/x$ . O valor obsoleto da transformada rápida de Fourier FFT é eliminado do fator  $e^{i\theta}$  no plano de Fourier e preserva apenas o perfil comum a todos os traços de linha. O ângulo dos traços atende ao valor máximo da transformada de Radon.

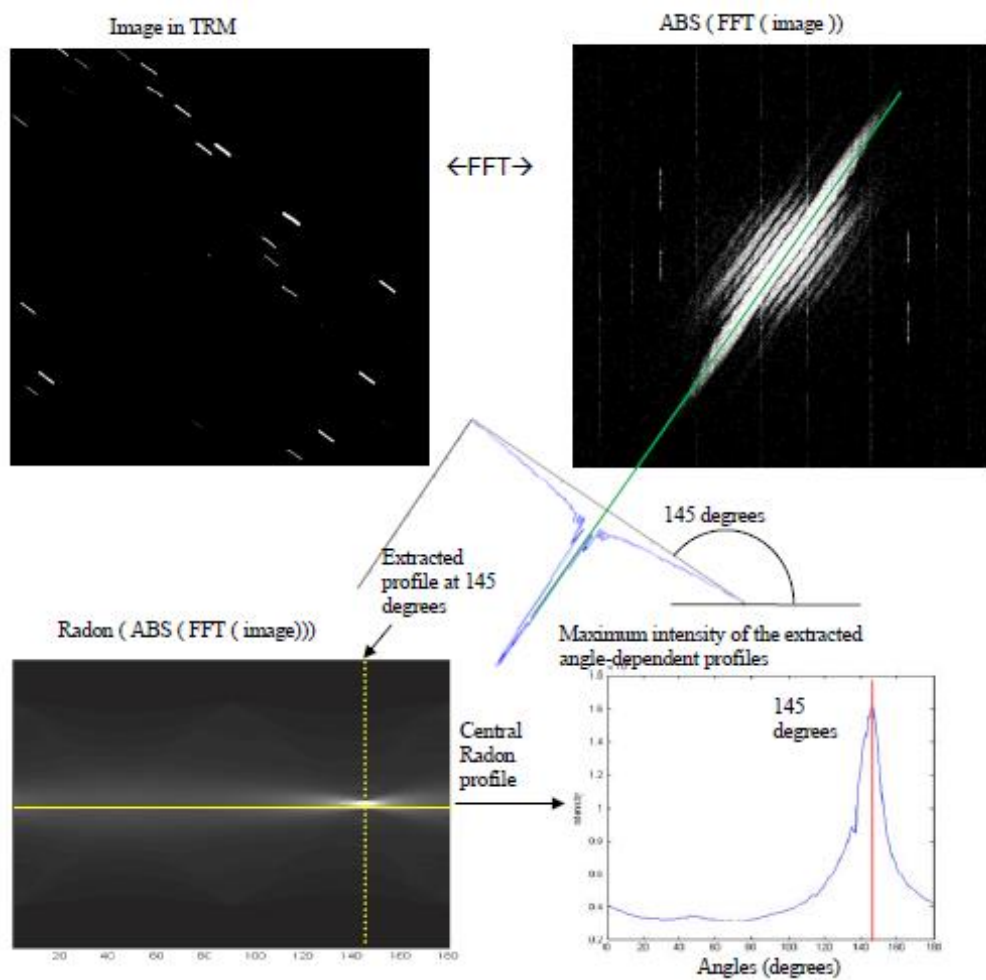
Figura 22. Filtrado das estrelas e objetos encontrados



(LEVESQUE, 2011)

O perfil da transformada Radon na orientação da linha " $S_\theta$ " mostra o perfil da função  $\text{sen}(x)/x$ , que é a função típica da Transformada de Fourier da função retângulo (faixa). A medição dos zeros (ou mínimos e máximos) permite o cálculo do comprimento das listras " $S_i$ ". Conforme mostrado na Figura 23.

Figura 23. Medição do tamanho e ângulo das estrelas em forma de traços de linha



(LEVESQUE, 2011)

## 8 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

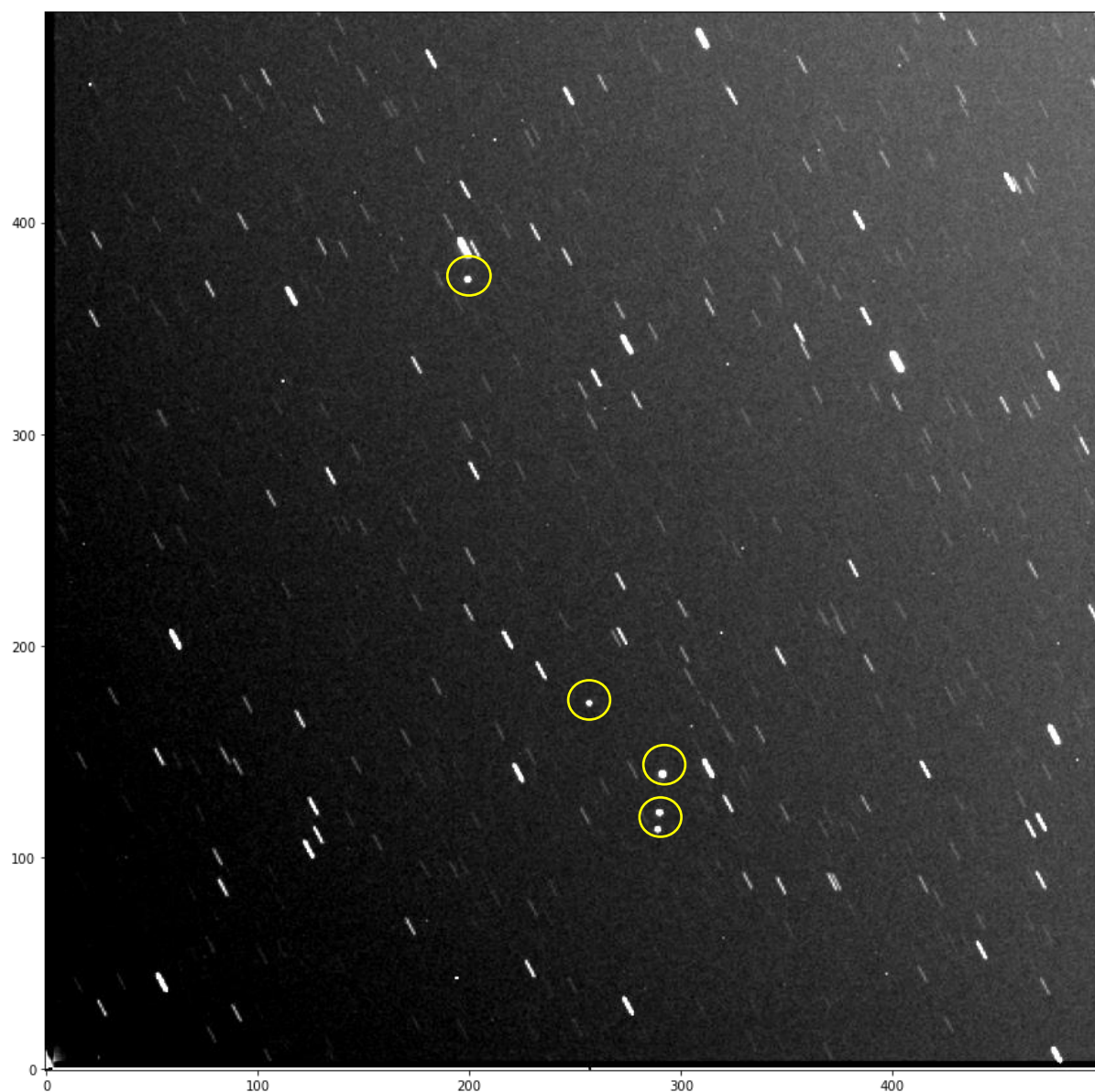
Graças ao acordo com a instituição de pesquisa LNA e o observatório do Pico dos Dias (OPD) localizado em Minas Gerais, Brasil, tivemos acesso a um banco de dados de mais de 1000 imagens obtidas em diferentes momentos de uma noite pelo telescópio russo PanEOS. Cada imagem do banco de dados tinha um tamanho de 2092 x 2092 pixels, 16 bits e estavam no formato FITS (Flexible Image Transport System), que é o formato mais amplamente conhecido, principalmente para armazenamento de imagens astronômicas.

Para abrir as imagens foi necessário utilizar um software especial para leitura do formato FITS, por isso optou-se por utilizar o AvisFV 2.0, de utilização gratuita. Uma vez que as imagens puderam ser lidas, a maioria delas foi observada manualmente para tentar encontrar objetos suspeitos de serem lixo espacial ou satélites. No entanto a tarefa era árdua, então decidiu-se usar apenas algumas imagens de amostra para continuar o trabalho, já com as imagens de amostra, a primeira coisa que se fez foi escolher aquela em que houvesse a certeza de haver um objeto com as características necessárias para ser candidato a detritos espaciais, ou seja, uma fonte dentro da imagem de formato aproximadamente redondo e com uma área de vários pixels. Para ter melhor visibilidade das imagens na tela do notebook, optou-se por trabalhar com uma área de zoom de 500 pixels, consulte a Figura 24. Esta imagem se tornou o padrão para calibrar o algoritmo e saber se estava indo bem, a ideia era executar os diversos testes realizados, variando os diferentes hiperparâmetros do algoritmo e observando a qualidade da imagem e a quantidade de objetos encontrados.

Depois de ver que o algoritmo funcionava bem com os objetos reais que estavam dentro das imagens e detectava 100% deles, decidiu-se adicionar algumas fontes artificiais com diferentes tamanhos em pixels, isso foi feito usando a função `make_gaussian_sources_image` que permite até mesmo variar a intensidade da luz de cada sinal na imagem. Os objetos artificiais na imagem são representados com círculos vermelhos e os reais com círculos amarelos, consulte a Figura 25.

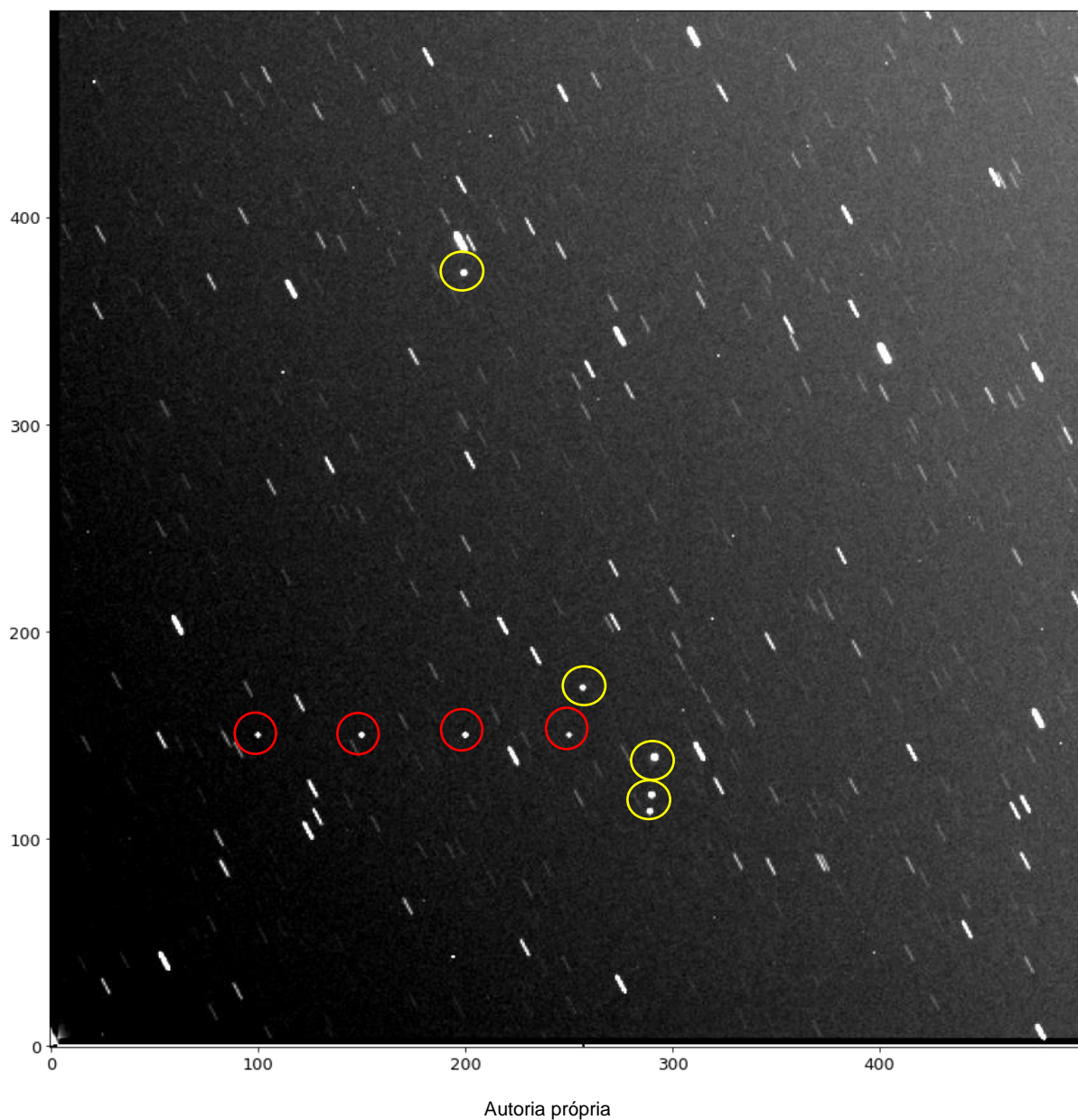


Figura 24. Imagem ampliada com fontes reais (os pequenos pontos dentro dos círculos podem ser ou lixo espacial ou satélites)



Autoria própria

Figura 25. Imagem ampliada com fontes reais e artificiais



### 8.1 Telescópio PanEOS

O telescópio PanEOS, mostrado na Figura 26, é um projeto da Agência Espacial Brasileira (AEB), em associação com a agência espacial Russa Roscosmos, o telescópio teve um investimento de R \$ 10 milhões e foi inaugurado em abril de 2017, seu principal objetivo é cobrir áreas do céu no hemisfério sul do planeta, onde atualmente há pouca vigilância de detritos espaciais. O laboratório está localizado no Pico dos Dias, em Brazópolis, Minas Gerais, onde funciona o observatório do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), que pertence ao Brasil.

O Sistema Eletro-Ótico Panorâmico (PanEos) é de extrema importância, pois permitirá construir ao longo do tempo um mapa do espaço onde os detritos espaciais são encontrados em diferentes órbitas e, assim, planejar o lançamento de futuros satélites com segurança (REDAÇÃO O SUL, 2017).

Figura 26. Telescópio PanEOS no observatório Pico dos Dias

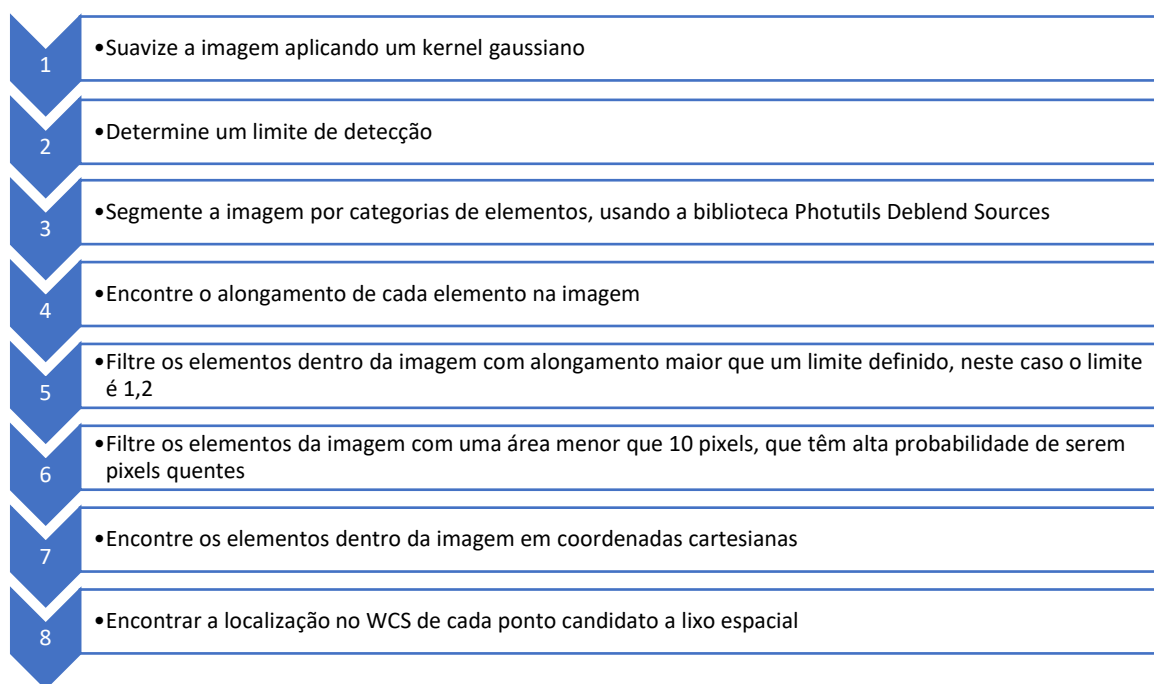


Telescópio Russo PanEOS, no pico dos Dias em Brazópolis Minas Gerais (REDAÇÃO O SUL, 2017).

## **8.2 Processo para encontrar objetos redondos (candidatos a lixos espaciais) em imagens tiradas pelo telescópio PanEOS em modo estático**

Depois de escolher as imagens com as quais trabalhar e colocar os objetos artificiais com a função `make_gaussian_sources_image` do `Pothutils`, procedemos ao tratamento de cada imagem com os passos descritos abaixo na Figura 27.

Figura 27. Processo para encontrar candidatos a detritos espaciais



Autoria própria

A biblioteca photutils do Astropy inclui uma função para detectar fontes (tanto na forma de pontos quanto na forma de linhas) dentro das imagens, isso é possível graças a um processo denominado segmentação de imagens que consiste em particionar uma imagem em vários segmentos (série de pixels). O objetivo da segmentação é simplificar a representação de uma imagem complexa em algo mais fácil de entender e analisar. A segmentação de imagens é geralmente usada para localizar objetos e bordas dentro das imagens e esse processo é feito atribuindo pixels com características semelhantes aos mesmos rótulos que são fáceis de entender visualmente, objetos com os mesmos rótulos tornam-se parte da mesma fonte. Depois de detectar e rotular as diferentes fontes dentro das imagens, suas propriedades fotométricas, centróides e propriedades morfológicas podem ser medidas.

### 8.2.1 Suavizando a imagem

Para suavizar o ruído de fundo, um kernel gaussiano com FWHM de 3 pixels foi aplicado, o tamanho foi determinado manualmente, iterando por erro de tentativa e por inspeção visual da qualidade das imagens após a aplicação do filtro.

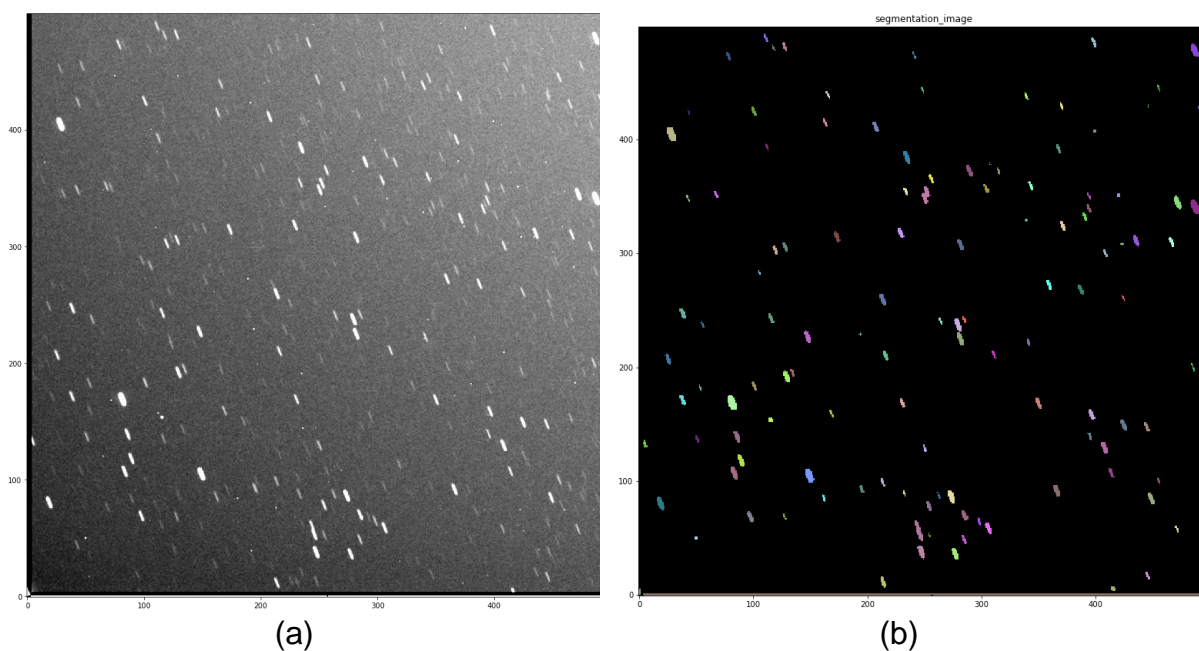
### 8.2.2 Determinando um limite de detecção

As origens da imagem devem ter um número mínimo de pixels conectados na imagem, que deve ser maior do que o limite de detecção especificado na imagem. O limite de detecção é geralmente definido como um múltiplo acima do ruído de fundo (sigma). O limite de detecção é calculado utilizando um fator denominado nsigma, que é o desvio padrão acima do ruído de fundo, para a análise da imagem foi utilizado um  $n\sigma = 5$  e foi determinado interativamente observando o melhor comportamento do código ao variar este fator

### 8.2.3 Segmentando a imagem por categorias de elementos, usando a biblioteca Photutils Deblend Sources

Para segmentar a imagem, primeiro determinou-se que as fontes a serem encontradas teriam pelo menos 3 pixels conectados, cada fonte por sua vez deve ser maior que o limite de detecção estabelecido. A função detectar fontes foi usada para encontrar essas fontes dentro da imagem, os parâmetros que foram inseridos foram a imagem, o limite de detecção, o número de pixels conectados a serem encontrados e o filtro de imagem. O resultado foi uma imagem segmentada onde as fontes detectadas foram rotuladas e separadas por cores, conforme mostrado na Figura 28.

Figura 28. Imagem segmentada



Autoria própria

#### **8.2.4 Encontrando o alongamento de cada elemento na imagem**

Depois de ter os objetos segmentados por rótulos, o alongamento e a área de cada um deles foram calculados (usando a função de propriedades de origem da biblioteca de fototilas) para posteriormente selecionar aqueles com uma área menor que 10 pixels e um alongamento maior que 1,2. (o alongamento foi calculado como a divisão entre o semi-eixo menor de cada estrela e o semi-eixo maior).

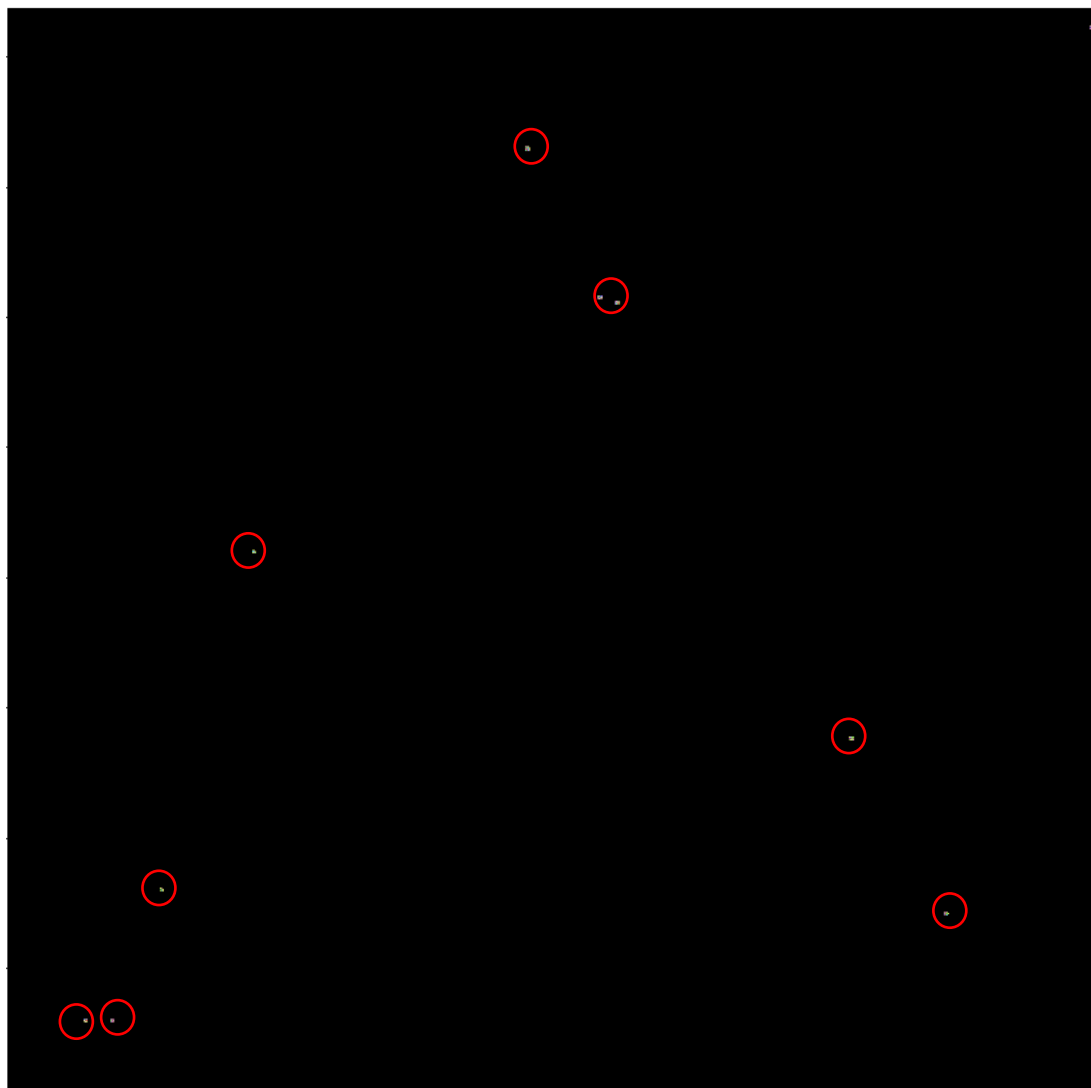
#### **8.2.5 Mascara dos elementos dentro da imagem com alongamento maior que um limite definido, neste caso o limite é 1,2**

A máscara foi aplicada de forma a deixar na imagem apenas as fontes mais próximas de serem objetos redondos, o que garante que nenhuma estrela permanecerá na imagem final e nenhum objeto com geometrias diferentes das esperadas, por exemplo, linhas de defeitos de imagem ou nuvens

#### **8.2.6 Mascaramento dos elementos da imagem com uma área menor que 10 pixels, que têm alta probabilidade de serem pixels quentes**

Para eliminar pixels quentes e outros defeitos nas imagens que podem ser confundidos com pequenos objetos, outra máscara foi criada para apagar os elementos com formas aproximadamente arredondadas que permaneceram nas imagens com área menor que 10 pixels, o resultado final é mostrado na Figura 29, onde os objetos detectados em uma das imagens disponíveis podem ser vistos em círculos vermelhos.

Figura 29. Objetos encontrados após a aplicação das máscaras



Autoria própria

### 8.2.7 Cálculo do tamanho de dois candidatos para detritos espaciais

Para encontrar o tamanho dos objetos detectados nas imagens, a altura em que eles orbitam na órbita GEO foi primeiro encontrada usando a terceira lei de Kepler e, em seguida, a relação trigonométrica entre a altura e a escala CCD foi aplicada.

### 8.2.8 Altura em que o objeto orbita acima da superfície da terra

Sabe-se que a altura de uma órbita geoestacionária está em média a cerca de 40.000 quilômetros de distância da Terra, mesmo assim, ela pode ser calculada usando a terceira lei de Kepler, equação (6):

$$a = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM}{4\pi^2}} \quad (6)$$

$a$  é o semi-eixo maior da órbita,  $T$  é o tempo,  $G$  é a constante de gravitação universal cujo valor é  $6,67 * 10^{-11}$  y  $M$  é a massa da terra, cujo valor é  $5,9722 * 10^{24}kg$ . A primeira suposição é que o objeto segue uma órbita circular, caso em que o semieixo maior também é igual ao raio da órbita. Então a altura  $H$  na superfície da terra para a qual o referido objeto orbita é obtido como a diferença entre  $a$  e o raio da terra  $R_{\oplus}$ , assim:

$$H = a - R_{\oplus} \quad (7)$$

A segunda suposição a fazer é que o tempo  $T$  leva o objeto detectado para dar a volta na terra é de 24 horas, pois está localizado em uma órbita geocêntrica. Inserindo valores de tempo,  $G$  y  $M$  na equação (6), se tem que  $a = 35862994m$ , portanto, a partir da equação (7) se tem que  $H = 5,6228335 R_{\oplus}$

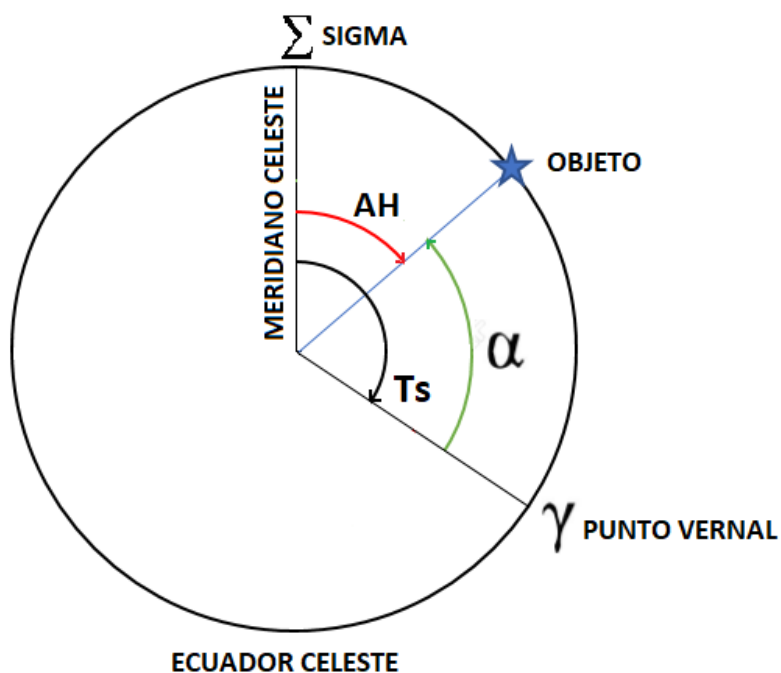
### 8.2.9 Calculando a posição do objeto nas coordenadas do solo

Já as coordenadas equatoriais dos objetos detectados nas imagens (ascensão reta e declinação) são absolutas, ou seja, medidas em relação a um céu estático; foi criada uma função utilizando Python e Astropy (ver anexo 1), que retorna a longitude de cada objeto, foi utilizada a equação fundamental da Astronomia, que é ilustrada na Figura 30 e na equação (8), que relaciona o tempo sideral, a ascensão reta e o ângulo hora de atingir este valor

$$Ts = \alpha + AH \quad (8)$$



Figura 30. Relação entre tempo sideral, ascensão reta e ângulo horário



Autoria própria

$T_s$  é o tempo sideral,  $\alpha$  é ascensão reta e  $AH$  é o ângulo horário. Dado que  $\alpha$  e a longitude são medidos em sentido anti-horário, (visto desde o hemisfério norte), então o comprimento correspondente é medido como  $Longitude = \alpha - T_s$

Conhecendo as três coordenadas de latitude, longitude e altitude do objeto e do observatório, conforme mostrado na Tabela 6, passamos a calcular a diferença entre esses vetores e desta forma, a altura do observatório  $H$  ao objeto é:  $5.7336185R_{\oplus}$

Tabela 6. Coordenadas geocêntricas dos objetos detectados e do observatório astronômico

Tipo de coordenada	Observatório Astronômico	Objeto
Longitude	-45.5825	$\alpha - T_s$
Latitude	-22.5344	Dec
Altura $H$	1864 m	$H$

### 8.2.10 Calculando a distância focal do telescópio

Para calcular a distância focal do telescópio, foram utilizadas as informações dos cabeçalhos das imagens, ver Tabela 7. Como o tamanho em pixels das imagens e o tamanho de cada pixel em micrômetros eram conhecidos, a largura do CCD foi primeiro calculado usando a seguinte relação:

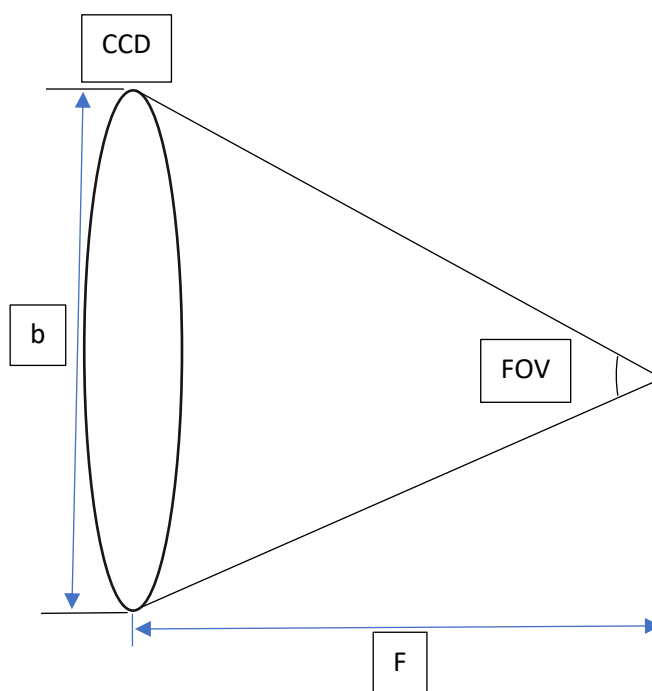
$$2092_{\text{pixels}} * \frac{24_{\mu\text{m}}}{\text{pix}} = 50208_{\mu\text{m}} * \frac{1_{\text{mm}}}{1000_{\mu\text{m}}} = 50,21\text{mm} = b \quad (9)$$

Tabela 7. Constantes da CCD

Constante	Valor	Unidade	Descrição
FOV	7	Deg	Campo de visão do telescópio
CCD_pix	2092	Pix	Tamanho da CCD em pixels
PIX_SIZE	24	Micrometro	Tamanho de cada pixel

Conhecendo a largura do CCD e o campo de visão do telescópio (FOV), proceda ao cálculo do comprimento focal do telescópio, conforme ilustrado na Figura 31.

Figura 31. Ilustração do cálculo da largura CCD



Autoria própria

Da Figura 31 temos que  $Tan\left(\frac{FOV}{2}\right) = \frac{b}{2F}$ , a partir desta equação temos que F, que é o valor da distância focal e você tem que  $F = \frac{b}{2} * cot\left(\frac{FOV}{2}\right)$ , substituindo valores, verificou-se que o valor de F é 410.46 milímetros.

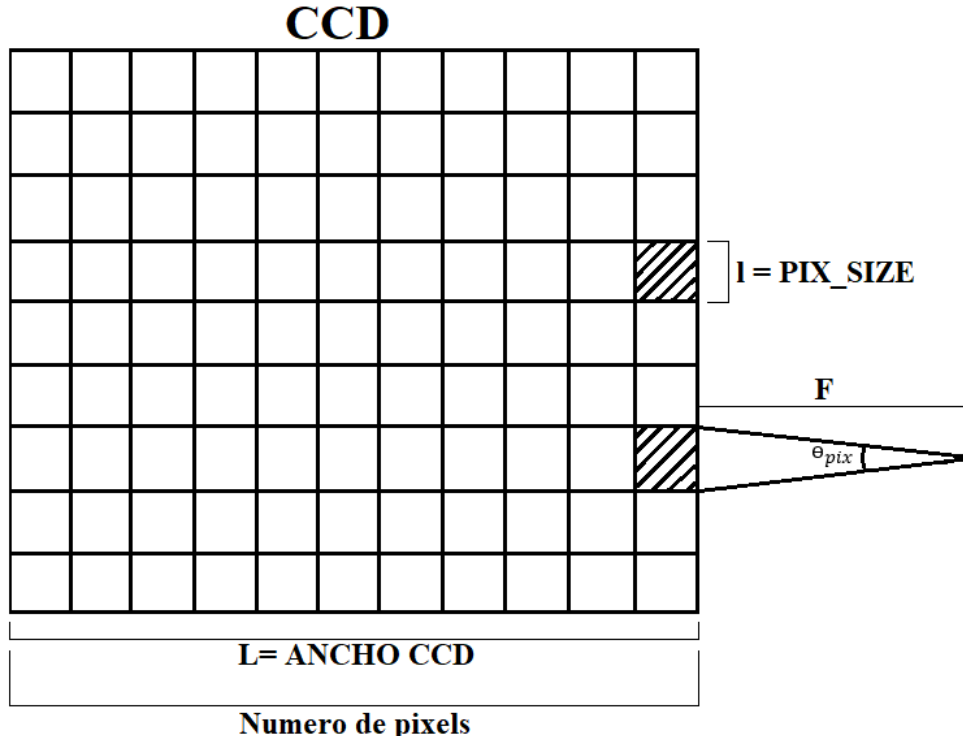
### 8.2.11 Escala do CCD

A resolução ou também chamada escala do CCD, é um valor em  $\frac{arcosegundos}{pixel}$  e é calculado como a tangente inversa entre o tamanho de cada pixel (PIX\_SIZE) e a distância focal F, assim:

$$\theta_{pix} = 2 * \tan^{-1} \frac{PIX\_SIZE}{2F} \quad (10)$$

Na Figura 32 o cálculo é ilustrado representando o CCD de forma quadrada. Substituindo os valores verificou-se que  $\theta_{pix} = 12,06 \frac{arcsec}{pix}$

Figura 32. Ilustração da resolução da CCD



Autoria própria

### 8.2.12 Cálculo do tamanho dos objetos detectados nas imagens

Procurou-se encontrar o tamanho  $T$  dos objetos detectados por meio de cálculos trigonométricos que relacionam a altura da órbita  $H$  e o ângulo  $\alpha$  em segundos de arco que os destroços ocupam, utilizando a equação (112):

$$T = 2 * H * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (112)$$

Porém, concluiu-se que não é possível dado que a resolução do CCD não permite isso. Esse ângulo teria que ser muito pequeno (o que não é possível hoje com a tecnologia disponível), ou o tamanho da CCD muito grande, talvez centenas de metros para ser capaz de detectar objetos próximos a 1 metro de diâmetro ou menos em órbitas geoestacionárias.

Existem técnicas fotométricas para encontrar o tamanho de objetos, como satélites ou detritos espaciais em órbita, esses métodos dependem basicamente de três fatores principais; o primeiro é o albedo, que é uma medida da quantidade de luz que um determinado material é capaz de refletir, o segundo é o aspecto ou geometria do objeto, do qual também depende a forma e a quantidade em que a luz é refletida e a terceira é a função de fase, que determina a quantidade de área iluminada que o sensor no solo observará (HEJDUK, 2011). Esses tipos de cálculos representam um grande desafio, pois diferentes premissas devem ser feitas, a primeira está relacionada ao albedo, onde deve ser assumido e utilizado o valor de materiais cujo valor já é conhecido em laboratório e que geralmente são materiais comumente usados para construir satélites, a outra grande suposição que deve ser feita está relacionada à forma do objeto, para o qual geralmente na literatura se opta por supor que sejam esferas lambertianas difusas ou especulares, (as superfícies difusas refletem a luz de forma assimétrica, em direções aleatórias, enquanto as superfícies especulares refletem a luz de forma simétrica, comportando-se como um espelho).

A equação (12) representa o diâmetro de um objeto em órbita em função da distância  $R$  na qual ele está em órbita, o albedo  $\alpha_g$ , a função de fase (function phase)  $f(\phi)$ , a irradiância  $E_R$  medida a partir do objeto e a irradiância  $E$  correspondente a um painel de espectrolon ocupando o mesmo espaço e coordenadas que o objeto (HOSTETLER; COWARDIN, 2019).

$$d = \frac{2R}{[\pi\alpha_g f(\phi)]^{1/2}} \times 10^{\left| \frac{-26.74 - 2.5 \log_{10}\left(\frac{E_r}{E}\right) + 5 \log_{10}(R)}{-5} \right|} \quad (12)$$

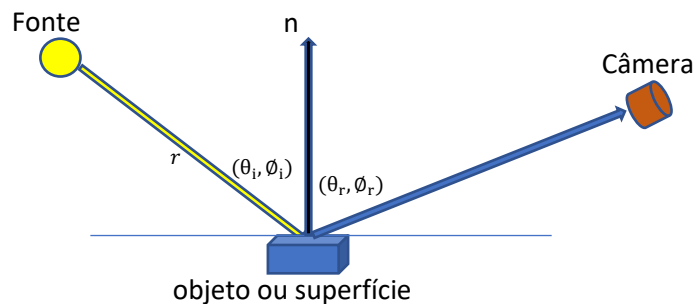
Para este cálculo, assume-se que a geometria dos objetos a serem encontrados é uma esfera lambertiana isotrópica, com Função de Distribuição de Refletância Bidirecional (BRDF), a qual representa uma superfície onde a luz é refletida em todas as direções com a mesma intensidade e é representada pelas equações (13) e (14):

$$BRDF = \frac{\text{Quantidade de luz refletida em uma direção}}{\text{Quantidade de luz que vem de uma direção}} = \frac{\text{Direção do olho/câmera}}{\text{Direção da luz}} \quad (13)$$

$$BRDF: f(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{L(\theta_r, \phi_r)}{E_R(\theta_i, \phi_i)} \quad (14)$$

Onde  $L$  é a radiância do objeto ou satélite, e  $E$  é a irradiância,  $(\theta_r, \phi_r)$  são os ângulos em coordenadas polares em que a luz atinge o objeto e  $(\theta_i, \phi_i)$  são os ângulos em coordenadas polares em que a luz é refletida do objeto, veja a Figura 33. A radiância é a quantidade de radiação eletromagnética emitida ou refletida por uma área específica de um sólido em um determinado ângulo e irradiância é a quantidade média de energia por unidade de área e tempo que incide sobre uma superfície, expressa em  $W/m^2$  (OLIVER et al., 2020).

Figura 33. Função de Distribuição de Refletância Bidirecional



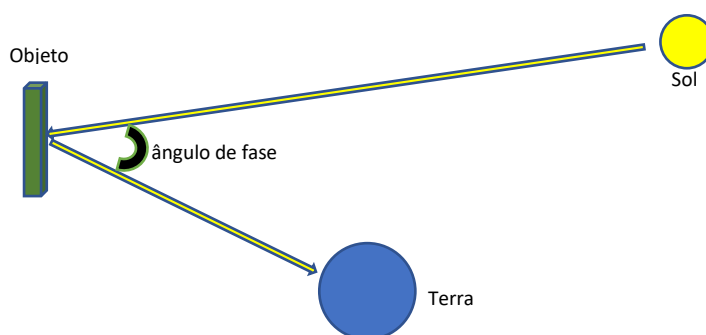
A função de fase também pode ser aproximada matematicamente como é proposto por (HOSTETLER; COWARDIN, 2019), como é mostrado na equação (17),

assumindo uma superfície Lambertiana especular; no entanto, sabe-se que, em um contexto do mundo real, objetos como satélites e detritos espaciais exibem uma combinação de funções especulares e difusas.

$$f(\varnothing) = \frac{2}{3\pi^2} [\sin(\varnothing) + (\pi - \varnothing)\cos\varnothing] \quad (15)$$

O ângulo de fase  $\varnothing$  é o ângulo entre o sol, o objeto em órbita (satélite ou lixo espacial) e o observador na Terra, o ângulo é representado na Figura 34.

Figura 34. Representação do ângulo de fase



O albedo mede a quantidade de radiação eletromagnética refletida por uma superfície, principalmente um corpo estelar, é medido em uma escala entre zero e um, sendo zero um corpo negro, ou seja, que absorve toda a energia e um o qual é um corpo que reflete toda a energia ou radiação incidente. De acordo com (HOSTETLER; COWARDIN, 2019) um valor de 0,175 de albedo, reduz o erro no cálculo dos tamanhos dos objetos.

## 9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação do processo de mascara a 30 imagens com diferentes tipos de defeitos como nuvens, linhas e hot pixels (conforme mostrado na tabela do anexo B), foi possível separar os candidatos a lixo espacial com uma eficiência entre 74,4 e 76,9%, ver Tabela 8. O algoritmo consegue detectar objetos na órbita GEO que têm um alongamento menor que 1,2 e uma área maior que 10 pixels.

Tabela 8. Resumo dos dados analisados

Quantidade de imagens	Tipo de defeito	Número de Detritos	Detritos Encontrados	Eficiência
4	Núvens e pixels quentes	26	20	76,9%
26	Linhas e pixels quentes	133	99	74.4%

Trabalhamos com dados reais do telescópio PanEOS e com imagens com objetos de teste e o software funcionou de forma eficiente em ambos casos, mesmo em imagens onde as nuvens estavam presentes, mostrando em todos os casos os candidatos mais prováveis a serem detritos. O procedimento de cálculo do tamanho dos objetos detectados, mostrou que não é possível fazê-lo, uma vez que a escala CCD só permite detectar objetos com tamanhos de pelo menos 2,4 km em condições ideais onde cada fonte detectada mede 1 pixel de largura, o que não é possível, uma vez que, os objetos que o algoritmo detectou possuem um tamanho maior que 10 pixels.

Na Figura 35 é mostrada uma imagem completa, com céu claro e na Figura 36 a imagem é mostrada após o tratamento, com 7 fontes detectadas, que se tornam as mais prováveis candidatas a serem detritos espaciais.

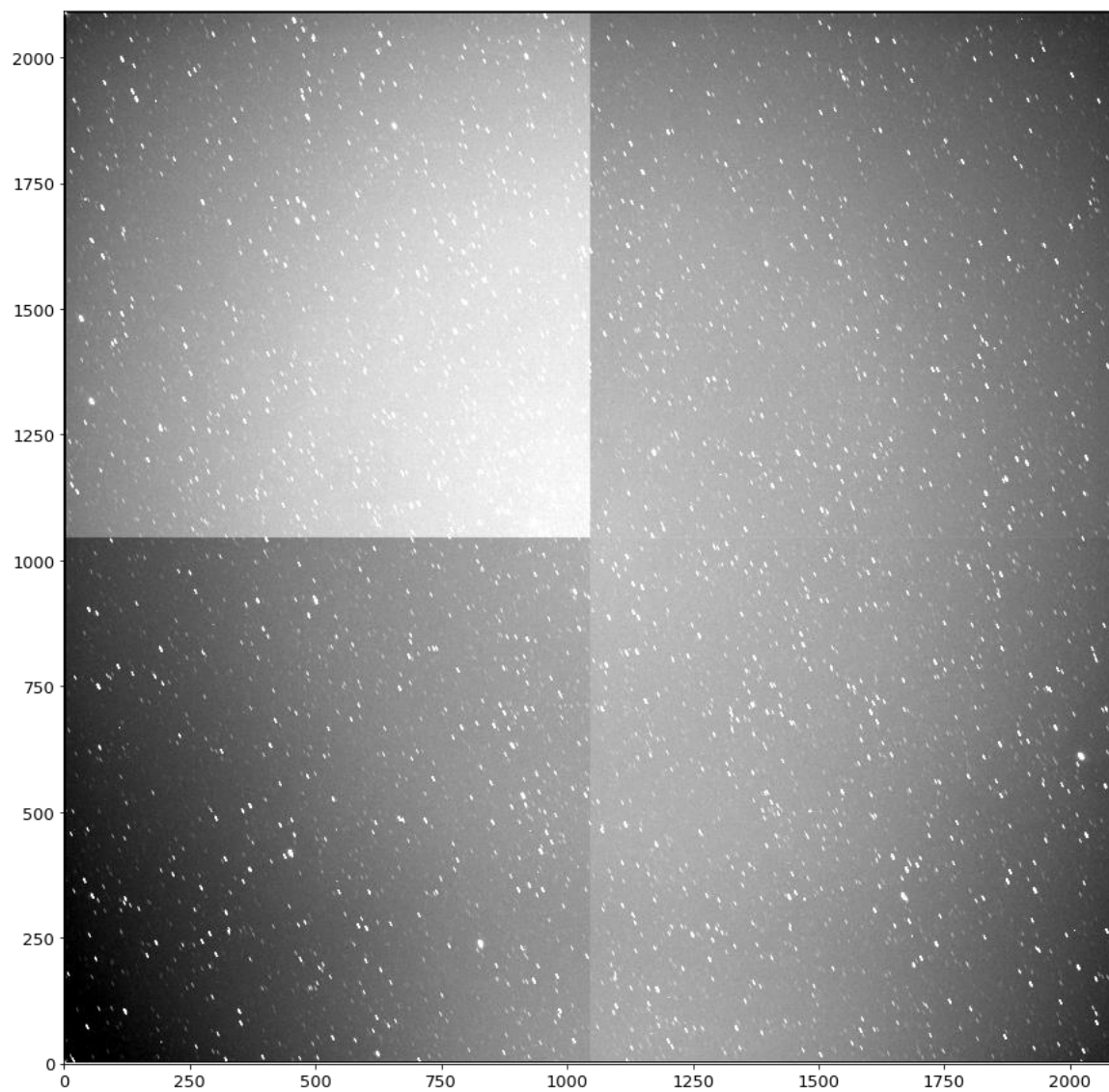
O principal método utilizado foi a tentativa e erro para calibrar os hiperparâmetros como o tamanho dos kernels gaussianos, o desvio padrão em relação ao ruído de fundo da imagem e o limite mínimo de detecção do algoritmo em termos do tamanho em pixels dos objetos detectados. Também foram feitas tentativas de trabalhar com métodos diferentes da literatura, como redes neurais ou sequências de imagens, mas não obtiveram sucesso devido ao número de imagens relativamente pequeno que se possuíam (1000 imagens), ao tempo que esse tipo de método levava e aos recursos computacionais disponíveis, o método foi escolhido

para trabalhar com os recursos que se possuíam, tanto em conhecimento técnico e capacidade computacional quanto em tempo.

Este trabalho é o primeiro passo no caminho para a construção de um sistema completo de detecção e rastreamento de detritos espaciais. Embora com os resultados mostrados já seja possível escanear um banco de dados de centenas e até milhares de imagens, tiradas em diferentes intervalos de tempo e mesmo com diferentes tipos de telescópios, o algoritmo ainda deve ser colocado em um contexto real; Cálculos das trajetórias dos objetos encontrados devem ser feitos e métodos eficientes devem ser encontrados para determinar seu tamanho. Como mencionado acima, existem muitas maneiras de encontrar detritos espaciais em imagens de telescópios, algumas delas usando algoritmos de aprendizado de máquina, mas para implementar esses tipos de técnicas é necessário um conjunto maior de imagens, pois os algoritmos devem ser treinados de maneira eficaz. Neste trabalho, foi criado um método utilizando os recursos disponíveis no momento e funciona bem com poucas imagens.

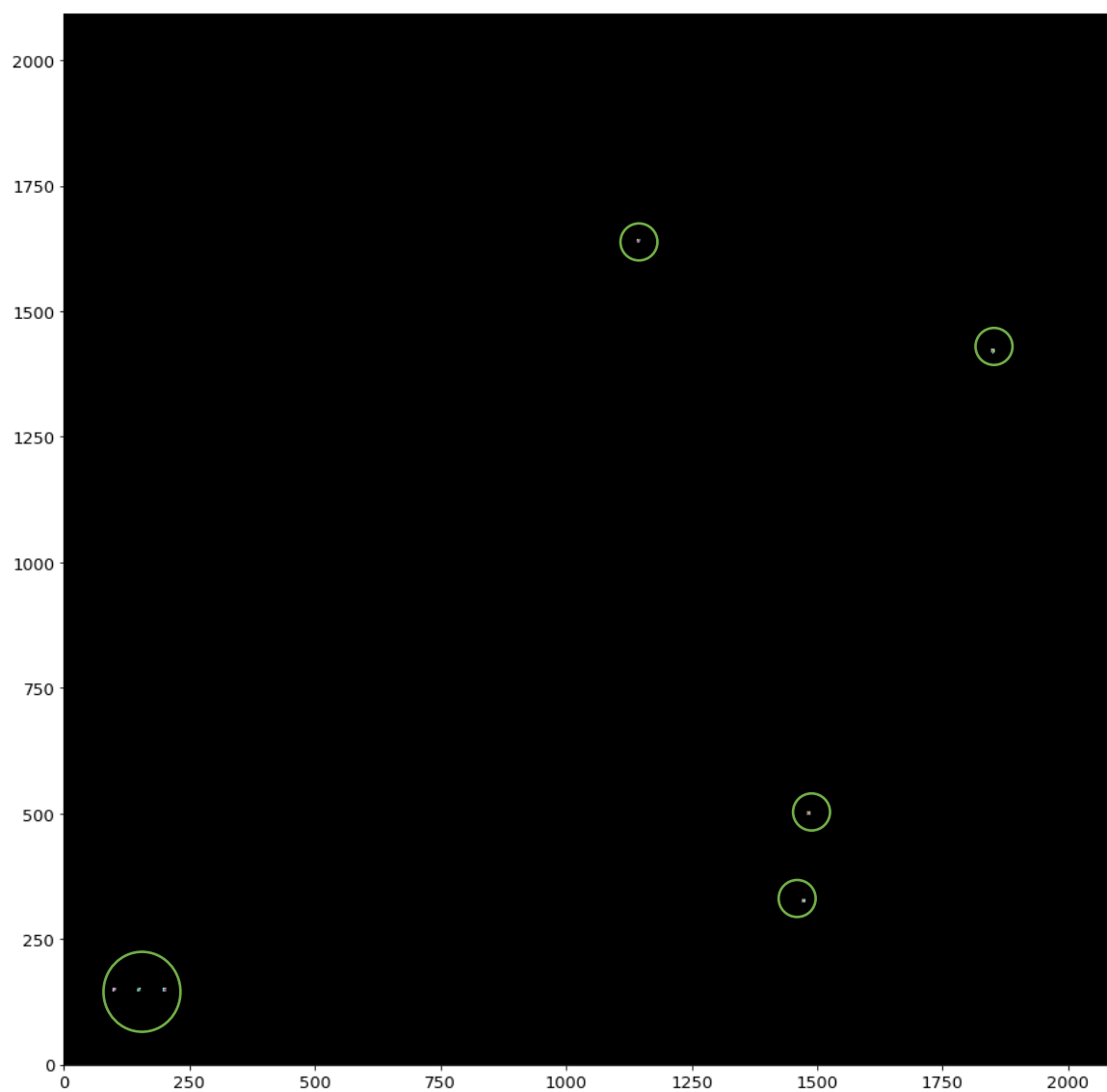


Figura 35. Imagem completa sem tratamento



Fonte: Autoria própria

Figura 36. Imagem após tratamento com máscara, com sete possíveis candidatos a lixo espacial



Fonte: Autoria própria

## 10 CONCLUSÕES

Conforme exposto neste trabalho, existem várias técnicas com diferentes graus de eficiência e complexidade para localizar satélites ou detritos espaciais em imagens adquiridas por telescópios. A máscara que foi exposta neste trabalho, utilizando a biblioteca Photutils da Astropy, apresentou uma eficiência de 76,9% usando imagens com objetos reais e artificiais (inseridos manualmente como teste) e pode ser utilizada para encontrar possíveis detritos espaciais nas bases de dados que estão em parceria com o Laboratório Nacional de Astrofísica e Roscosmos. A eficiência do algoritmo pode ser melhorada modificando os hiperparâmetros do código, manualmente e observando o seu comportamento, fazendo um melhor pré-processamento da imagem ou incluindo outras técnicas de detecção que complementam as utilizadas com o Astropy. Os cálculos do tamanho dos objetos detectados são deixados como proposta para trabalhos futuros, porém sabe-se que deve ser feito de forma indireta, utilizando cálculos fotométricos, por exemplo, utilizando esferas lambertianas como aproximação geométrica das fontes detectadas nas imagens. Outro cálculo que fica como sugestão para trabalhos futuros é a comparação entre os objetos detectados e os já catalogados pela ESA e a NASA para verificar se o objeto já foi posteriormente detectado ou se é um novo objeto a ser catalogado.

## REFERÊNCIAS

- AZZEH, Jamil Al et al. Salt and Pepper Noise: Effects and Removal. **INTERNATIONAL JOURNAL ON INFORMATICS VISUALIZATION**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 252-256, 29 dez. 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.30630/joiv.2.4.151>. Disponível em: <http://joiv.org/index.php/joiv/article/view/151>. Acesso em: 1 dez. 2021.
- BARBOSA, Ruis C. **MEV-1 prolonga a vida útil do Intelsat-901 na órbita geossíncrona**. [S. l.], 26 fev. 2020. Disponível em: <https://www.orbita.zenite.nu/mev-1-prolonga-a-vida-util-do-intelsat-901-na-orbita-geossincrona/>. Acesso em: 27 out. 2020.
- BOLEY, Aaron C; BYERS, Michael. Satellite mega-constellations create risks in Low Earth Orbit, the atmosphere and on Earth. **Scientific Reports**, Canada, v. 11, n. 11:10642, p.8, 20 maio 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-89909-7>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- CONSTELLATIONS: Connection for people all over the globe. [S. l.], 29 abr. 2022. Disponível em: <https://www.airbus.com/zh-hans/node/5716>. Acesso em: 29 dez. 2021.
- CHA, Jihun et al. Ultra-high-molecular-weight polyethylene as a hypervelocity impact shielding material for space structures. **Acta Astronautica**, South Korea, v. 168, p. 182-190, 31 mar. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.12.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094576519314419?via%3Dihub>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- DRMOLA, Jakub; HUBÍK, Tomáš. Kessler Syndrome: System Dynamics Model. **Space Policy**, Republica Checa, v. 44-45, p. 29-39, 17 mar. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2018.03.003>. Disponível em: <https://n9.cl/blkiy>. Acesso em: 9 dez. 2020.
- DU, Jianli; SANG, Jizhang. A space surveillance satellite for cataloging high-altitude small debris. **Acta Astronautica**, [S. l.], v. 157, p. 268-275, 4 jan. 2019.

- DOI <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.01.003>. Disponível em: <https://n9.cl/b3yj7>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- ELDIARIO.ES. **Brasil operará un telescopio ruso para vigilar la basura espacial.** [S. l.], 5 fev. 2017. Disponível em: [https://www.eldiario.es/tecnologia/brasil-operara-telescopio-vigilar-espacial\\_1\\_3594700.html](https://www.eldiario.es/tecnologia/brasil-operara-telescopio-vigilar-espacial_1_3594700.html). Acesso em: 12 maio 2021.
  - GANBOLD , Ganchimeg. *History Document Image Background Noise and Removal Methods.* **International Journal of Knowledge Content Development & Technology**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 11-24, 30 dez. 2015. DOI <https://doi.org/10.5865/IJKCT.2015.5.2.011>. Disponível em: <http://koreascience.or.kr/article/JAKO201504641501915.page>. Acesso em: 1 fev. 2022.
  - HAMBAL, Abdalla Mohamed et al. *Image Noise Reduction and Filtering Techniques.* **International Journal of Science and Research (IJSR)**, Tianjin, China, v. 6, p. 2033-2038, 30 mar. 2017. DOI 10.21275/25031706. Disponível em: <https://www.ijsr.net/archive/v6i3/25031706.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.
  - HEJDUK, M.D. *Specular and Diffuse Components in Spherical Satellite Photometric Modeling.* **ResearchGate**, [S. l.], p. 1-11, 1 set. 2011. Disponível em: <https://bit.ly/37g44IW>. Acesso em: 17 mar. 2022.
  - HOSTETLER, J; COWARDIN, H. *Experimentally-Derived Phase Function Approximations in Support of the Orbital Debris Program Office.* **First Int'l. Orbital Debris Conf. (2019)**, [S. l.], p. 1-10, 9 dez. 2019. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190033905>. Acesso em: 23 mar. 2022.
  - HOWELL, Elizabeth. **Amazon's 1st Kuiper megaconstellation satellites will launch on a ULA Atlas V rocket.** *Space.com*, 20 abr. 2021. Disponível em: <https://www.space.com/amazon-kuiper-megaconstellation-atlas-v-rockets>. Acesso em: 22 jun. 2021.
  - JASIM, Muna Khalid et al. *Image Noise Removal Techniques : A Comparative Analysis.* **International Journal of Science and Applied Information Technology**, [S. l.], v. 8, n. 6, p. 24-29, 27 dez. 2019. DOI <https://doi.org/10.30534/ijisait/2019/01862019>. Disponível em:

- <http://www.warse.org/IJSAIT/static/pdf/file/ijisait01862019.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2022.
- JASIM, Muna Khalid et al. *Image Noise Removal Techniques: A Comparative Analysis. International Journal of Science and Applied Information Technology*, [S. l.], p. 24-29, 28 dez. 2019. DOI <https://doi.org/10.30534/ijisait/2019/01862019>. Disponível em: <http://www.warse.org/IJSAIT/static/pdf/file/ijisait01862019.pdf>. Acesso em: 7 out. 2021.
  - KALEEM, Mohammed Khalid et al. *Generalization of Line Drawing Algorithm – An effective approach to minimize the error in the existing Bresenham’s Line Drawing Algorithm. IEEE Xplore*, [S. l.], p. 516-521, 21 abr. 2021. DOI [10.1109/ESCI50559.2021.9396940](https://doi.org/10.1109/ESCI50559.2021.9396940). Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9396940>. Acesso em: 11 ago. 2021.
  - KONG, Sijie et al. *Effect Analysis of Optical Masking Algorithm for GEO Space Debris Detection. International Journal of Optics*, [S. l.], v. 2019, p. 1-8, 26 mar. 2019. DOI <https://doi.org/10.1155/2019/2815890>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijo/2019/2815890/>. Acesso em: 10 nov. 2021.
  - KULU, Erik. **World's largest database of nanosatellites, over 3300 nanosats and CubeSats**. [S. l.], 1 jan. 2022. Disponível em: <https://www.nanosats.eu/>. Acesso em: 13 jan. 2022.
  - LAAS-BOUREZ, Myrtille et al. *A new algorithm for optical observations of space debris with the TAROT telescopes. Advances in Space Research*, Toulouse, França, v. 44, p. 1270-1278, 1 dez. 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.asr.2009.06.013>. Disponível em: <https://n9.cl/ejgxc>. Acesso em: 10 ago. 2021.
  - LEVESQUE, Martin. *Detection of Artificial Satellites in Images Acquired in Track Rate Mode. ResearchGate*, Canada, p. 1-11, 30 set. 2011. DOI <https://www.researchgate.net/publication/252180042>. Disponível em: <https://n9.cl/osirr>. Acesso em: 8 jun. 2021.
  - MARK, C. Priyant; KAMATH, Surekha. *Review of Active Space Debris Removal Methods. Space Policy*, India, v. 47, p. 194-206, 29 jan. 2019. DOI

- <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2018.12.005>. Disponível em: <https://n9.cl/nlka5>. Acesso em: 4 jun. 2020.
- NÚÑEZ, Jorge; NÚÑEZ, Anna; MONTOJO, Francisco Javier; CONDOMINAS, Marta. Improving space debris detection in GEO ring using image deconvolution. **Advances in Space Research**, [S. l.], v. 56, p. 218-228, 15 jul. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.04.006>. Disponível em: <https://bit.ly/378MDd5>. Acesso em: 28 fev. 2020.
  - OLIVER, Adriana Lira et al. IRRADIANCIA Y RADIANCIA: COMPRENSIÓN DE LOS CONCEPTOS DE IRRADIANCIA Y RADIANCIA PARA LOS ESPACIOS ARQUITECTÓNICOS ASÍ CÓMO LAS UNIDADES RADIOMÉTRICAS Y FOTOMÉTRICAS. **Laboratorio de edificación sostenible**, [S. l.], p. 1-10, 12 jun. 2020. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/465328663/180515-Practica15-LES>. Acesso em: 31 mar. 2022.
  - POPOWICZ, A; SMOLKA, B. A method of complex background estimation in astronomical images. **Royal Astronomy Society**, Polônia, p. 809–823, 26 mar. 2015. DOI [doi:10.1093/mnras/stv1320](https://doi.org/10.1093/mnras/stv1320). Disponível em: <http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~observacional/papers/PDFs/images/MNRAS-2015-Popowicz-809-23.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.
  - PRADHAN, Bikram et al. Serendipitous detection and size estimation of space debris using a survey zenith-pointing telescope. **Acta Astronautica**, Canada, v. 164, p. 77–83, 31 jul. 2019. DOI [10.1016/j.actaastro.2019.07.008](https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.07.008). Disponível em: <https://n9.cl/nb5f0>. Acesso em: 3 nov. 2021.
  - REDAÇÃO O SUL. **Inaugurado telescópio russo para mapear o lixo espacial**. [S. l.], 5 abr. 2017. Disponível em: <https://www.osul.com.br/inaugurado-telescopio-russo-para-mapear-o-lixo-espacial/>. Acesso em: 7 nov. 2021.
  - SAMADZADEGAN, F; ALIDOOST, F. THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN OPTICAL ASTRONOMICAL SATELLITE TRACKING SYSTEM. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Iran, v. XL-1/W3, p. 25-30, 8 out. 2013. DOI <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W3-25-2013>. Disponível em:

- <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W3/25/2013/>. Acesso em: 14 dez. 2021.
- SAPATY, Peter Simon. *Space Debris Removal under Spatial Grasp Technology*. **Research Gate**, Ucrânia, v. 6, n. 1, p. 16-27, 22 jun. 2021. DOI doi:10.5539/nct.v6n1p16. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/352702507\\_Space\\_Debris\\_Removal\\_under\\_Spatial\\_Grasp\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/352702507_Space_Debris_Removal_under_Spatial_Grasp_Technology). Acesso em: 15 dez. 2021.
  - SHAN, Minghe et al. *Review and comparison of active space debris capturing and removal methods*. **Progress in Aerospace Sciences**, Holanda, v. 80, p. 18-32, 20 nov. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2015.11.001>. Disponível em: <https://n9.cl/2yumb>. Acesso em: 28 dez. 2021.
  - SINGH, Prabhishek; SHREE, Dr. Raj. *Analysis and effects of speckle noise in SAR images*. **IEEE Xplore**, Bareilly, Índia, p. 1-5, 1 out. 2016. DOI 10.1109/ICACCAF.2016.7748978. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7748978>. Acesso em: 19 jan. 2022.
  - STRASSE, Robert-Bosch. *Space Debris: ESA'S ANNUAL SPACE ENVIRONMENT REPORT*. In: **Space Debris: ESA'S ANNUAL SPACE ENVIRONMENT REPORT**. 5.0. 5.0. ed. Germany: ESA Space Debris Office, 27 maio 2021. Disponível em: [https://www.esa.int/Safety\\_Security/Space\\_Debris](https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris). Acesso em: 20 maio 2020.
  - SUN, Rong-yu et al. *Algorithms and applications for detecting faint space debris in GEO*. **Acta Astronautica**, [S. l.], v. 110, p. 9-17, 30 jun. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.01.001>. Disponível em: <https://n9.cl/eh12p>. Acesso em: 3 jan. 2022.
  - SUN, Rong-Yu; ZHAO, Chang-Yin. *A new source extraction algorithm for optical space debris observation*. **Research in Astron. Astrophys**, China, v. 13, n. 5, p. 604–614, 12 nov. 2012. DOI <http://www.iop.org/journals/raa>. Disponível em: <https://www.raa-journal.org/raa/index.php/raa/article/viewFile/1248/1100>. Acesso em: 21 jan. 2022.
  - SUN, RongYu et al. *A method of separating blended images in space debris observation*. **SCIENCE CHINA Physics, Mechanics & Astronomy**, Beijing, China, v. 55, n. 10, p. 1945–1951, 9 jul. 2012. DOI doi: 10.1007/s11433-012-



- 4821-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11433-012-4821-7>. Acesso em: 14 maio 2021.
- SYLVESTRE, Habimana; PARAMA, Ramakrishna. Space debris: Reasons, types, impacts and management. **ResearchGate**, Ruanda, v. 46, p. 20-26, 30 mar. 2017. DOI <https://www.researchgate.net/publication/324161123>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/324161123\\_Space\\_debris\\_Reasons\\_types\\_impacts\\_and\\_management](https://www.researchgate.net/publication/324161123_Space_debris_Reasons_types_impacts_and_management). Acesso em: 5 out. 2021.
  - SYLVESTRE, Habimana; PARAMA, Ramakrishna. Space debris: Reasons, types, impacts and management. **Indian Journal of Radio & Space Physics**, Bengaluru India, v. 46, p. 20-26, 5 jul. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/324161123\\_Space\\_debris\\_Reasons\\_types\\_impacts\\_and\\_management](https://www.researchgate.net/publication/324161123_Space_debris_Reasons_types_impacts_and_management). Acesso em: 31 mar. 2020.
  - THAKUR, Kirti V et al. Poisson Noise Reducing Bilateral Filter. **Procedia Computer Science**, [S. l.], v. 79, p. 861-865, 21 dez. 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.087>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916002180#!>. Acesso em: 19 jan. 2022.
  - UNDSETH, Marit et al. Space sustainability: The economics of space debris in perspective. **OECD Science, Technology and Industry Policy Papers**, [S. l.], v. 87, p. 19-20, 8 abr. 2020. DOI <https://doi.org/10.1787/a339de43-en>. Disponível em: [https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/space-sustainability\\_a339de43-en](https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/space-sustainability_a339de43-en). Acesso em: 30 abr. 2020.
  - V.R, Vijaykumar; VANATHI, P.T; KANAGASABAPATHY, Prathapan. Fast and Efficient Algorithm to Remove Gaussian Noise in Digital Images. **ResearchGate**, [S. l.], p. 1-8, 1 fev. 2010. DOI <https://www.researchgate.net/publication/281495597>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/281495597\\_Fast\\_and\\_Efficient\\_Algorithm\\_to\\_Remove\\_Gaussian\\_Noise\\_in\\_Digital\\_Images](https://www.researchgate.net/publication/281495597_Fast_and_Efficient_Algorithm_to_Remove_Gaussian_Noise_in_Digital_Images). Acesso em: 27 maio 2021.
  - XI, Jiangbo et al. Space Debris Detection Using Feature Learning of Candidate Regions in Optical Image Sequences. **IEEE Access**, [S. l.], p. 1-14, 27 ago.

2020. DOI 10.1109/ACCESS.2020.3016761. Disponível em:  
<https://bit.ly/38cZDyP>. Acesso em: 17 set. 2021.

### APÊNDICE A – Informações sobre as imagens analisadas

Esta tabela mostra as imagens analisadas, os objetos reais que possuem ditas imagens em uma forma aproximadamente circular e os objetos que o algoritmo realmente detectou.

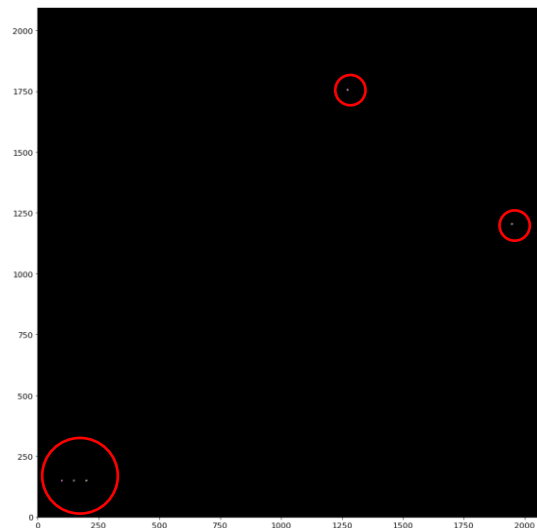
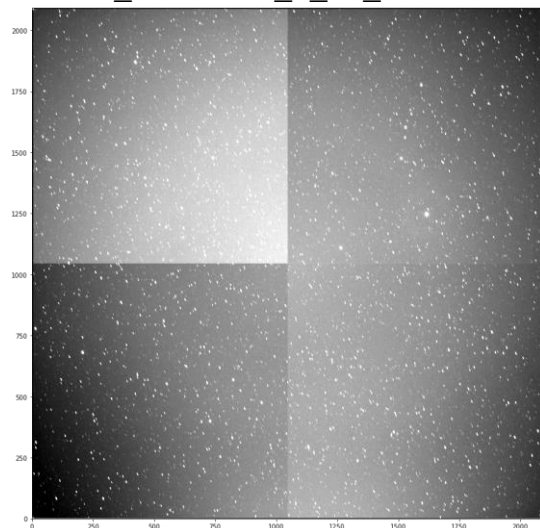
Id detrito	Detritos totais	Detritos detectados	Falsas detecções
013524_24571521_2_01_01.fts	5	4	1
013722_24571681_2_01_08.fts	7	5	3
013915_24571720_1_01_01.fts	4	3	1
014112_24571680_2_01_01.fts	10	9	1
014312_24571640_1_01_01.fts	4	4	1
014312_24571640_2_01_01.fts	9	7	0
014507_24571757_1_01_01.fts	5	4	3
014507_24571757_2_01_01.fts	4	2	1
014704_24571719_1_01_01.fts	4	3	2
014704_24571719_2_01_01.fts	5	4	1
014902_24571679_1_01_01.fts	5	4	0
014902_24571679_2_01_01.fts	5	4	0
015059_24571639_1_01_01.fts	5	3	1
015300_24571756_1_01_01.fts	6	4	1
015458_24571718_1_01_01.fts	4	3	1
015458_24571718_2_01_01.fts	4	2	0
015700_24571678_1_01_01.fts	4	2	0
015859_24571638_2_01_01.fts	10	8	1
020055_24571597_2_01_01.fts	7	6	1
020251_24571559_1_01_01.fts	4	2	0
020251_24571559_2_01_01.fts	4	2	0
020647_24571717_1_01_01.fts	6	5	1
020647_24571717_2_01_01.fts	4	3	0
020844_24571677_1_01_01.fts	5	4	1
021100_24571637_1_01_01.fts	6	5	0
021256_24571596_1_01_01.fts	4	3	1
021455_24571558_1_01_01.fts	5	4	0
023613_24571562_1_01_01.fts	4	3	1
024648_24572570_2_01_01.fts	6	5	0
025517_24572570_1_01_01.fts	4	2	0
<b>Total</b>	<b>159</b>	<b>119</b>	<b>23</b>

## APÊNDICE B – Imagens analisadas com o algoritmo

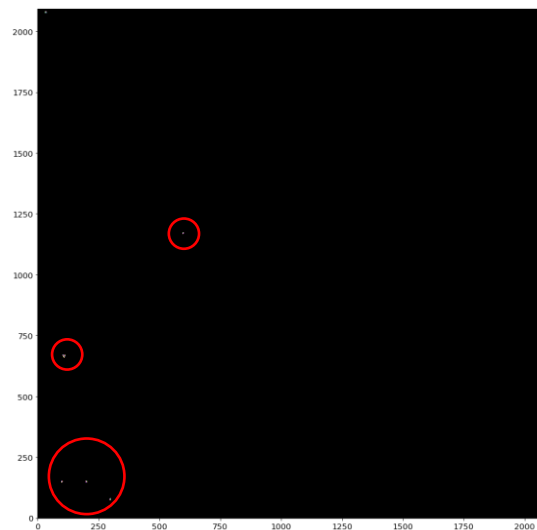
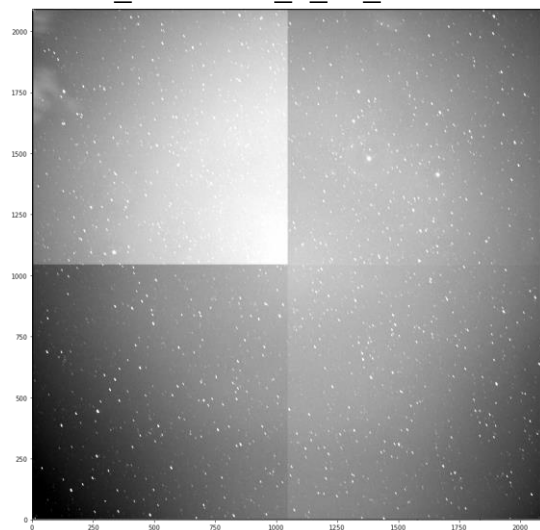
Imagens sim tratamento

Imagens com a mascara

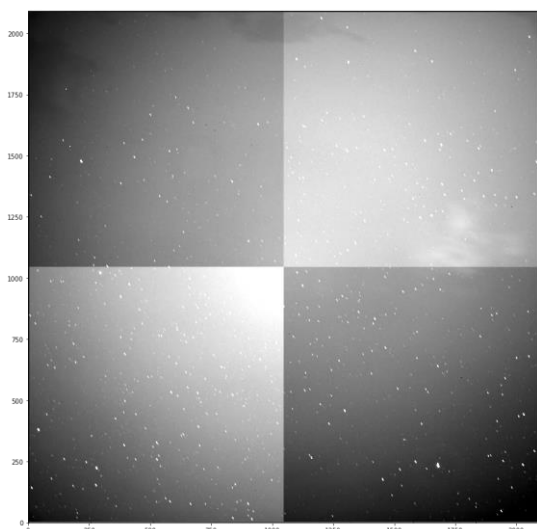
013524\_24571521\_2\_01\_01.fts



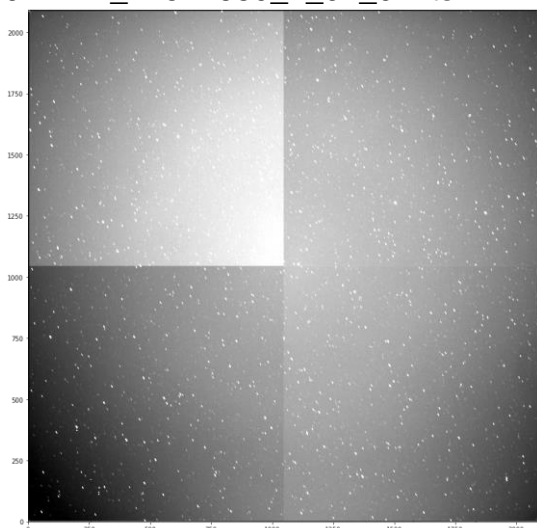
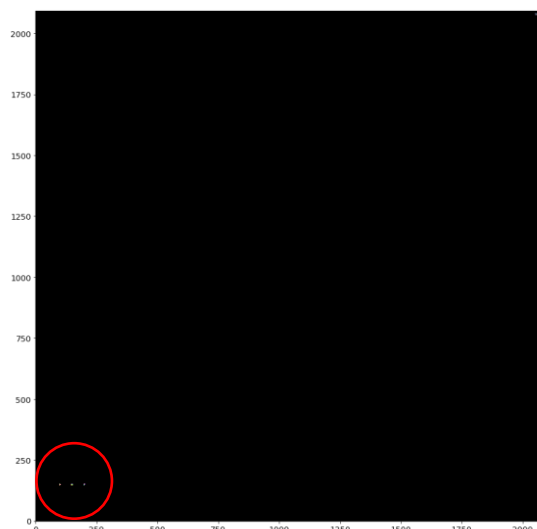
013722\_24571681\_2\_01\_08.fts



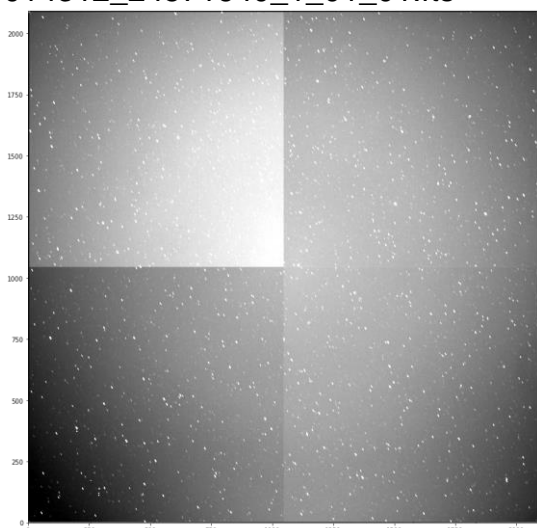
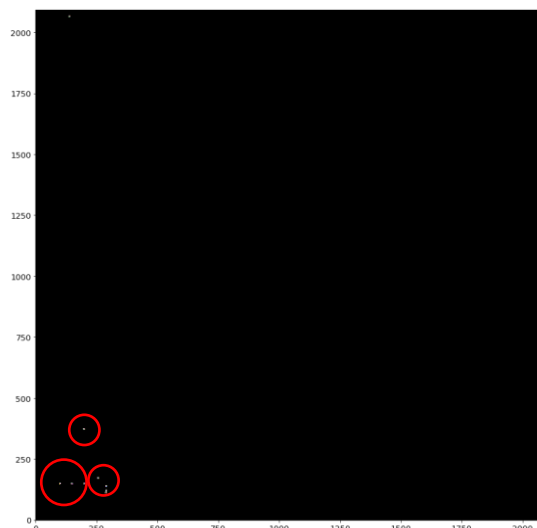
013915\_24571720\_1\_01\_01.fts



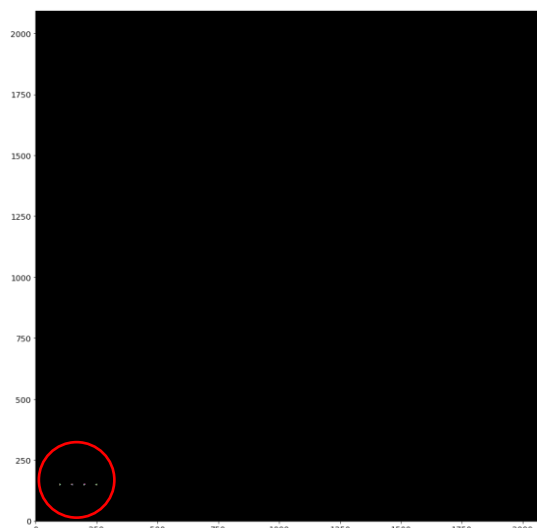
014112\_24571680\_2\_01\_01.fits

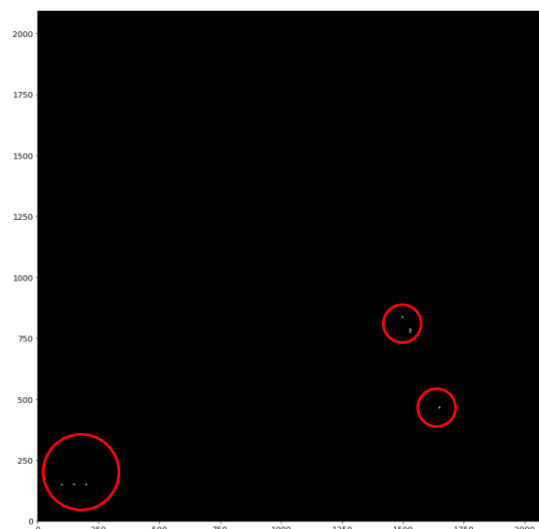
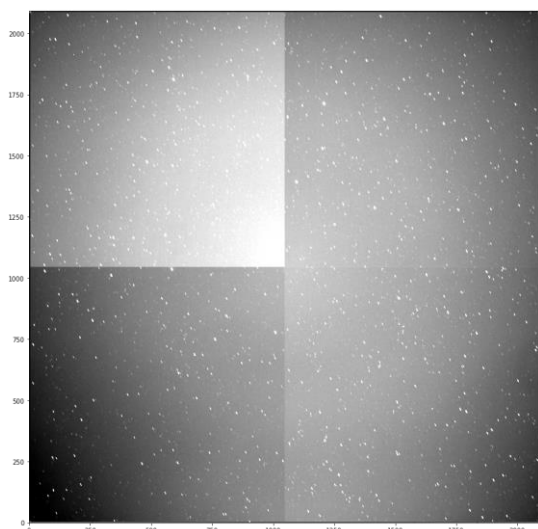


014312\_24571640\_1\_01\_01.fits

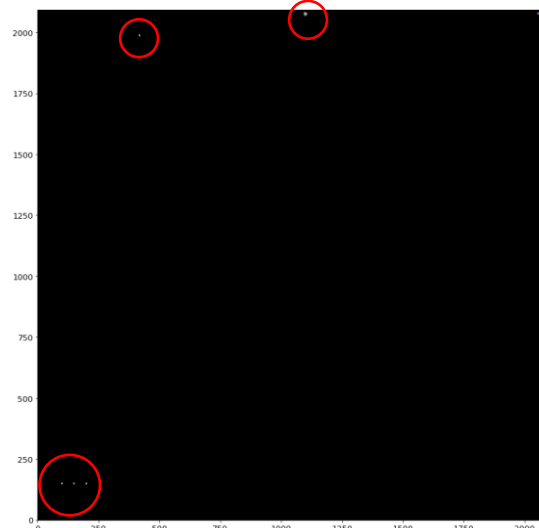
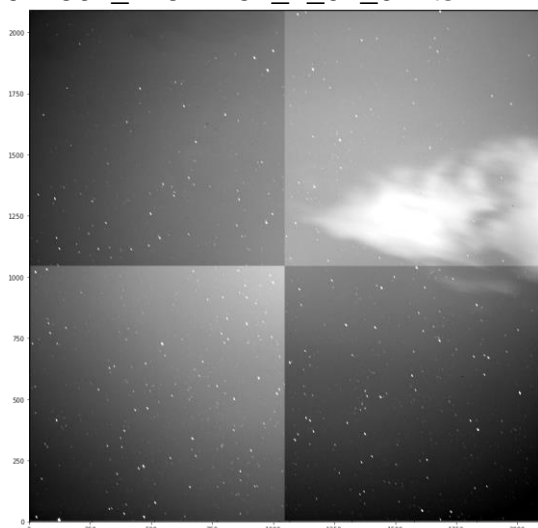


014312\_24571640\_2\_01\_01.fits

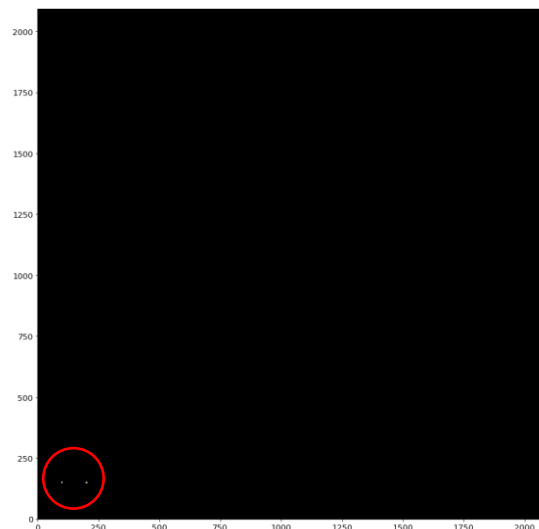
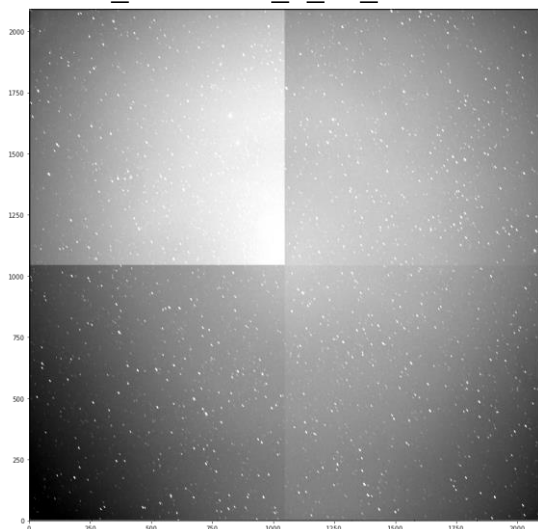




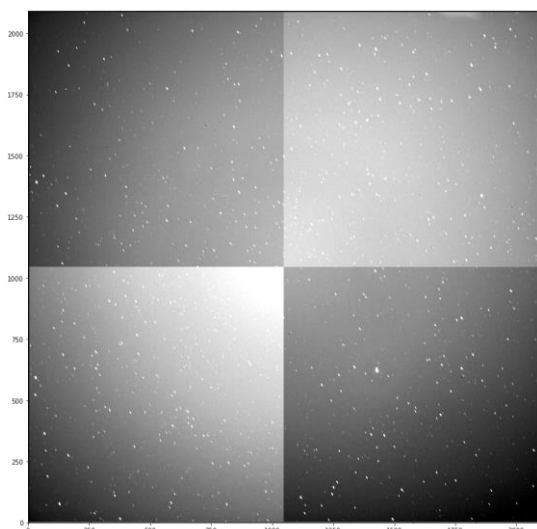
014507\_24571757\_1\_01\_01.fts



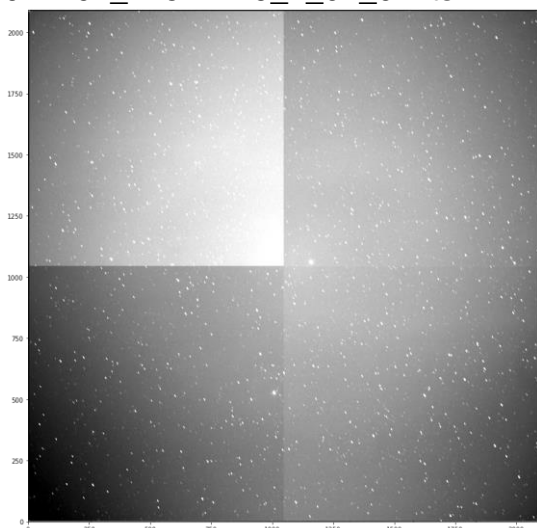
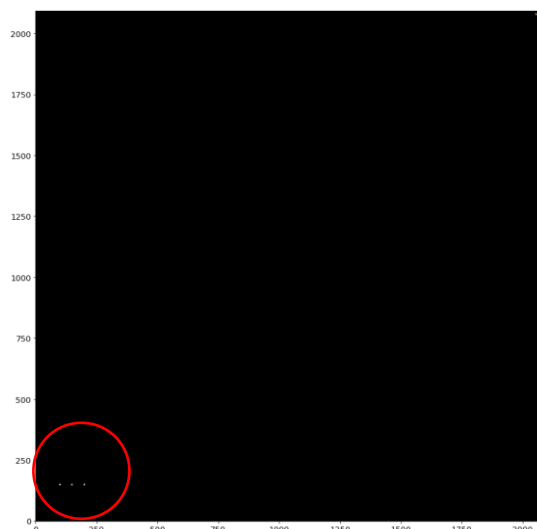
014507\_24571757\_2\_01\_01.fts



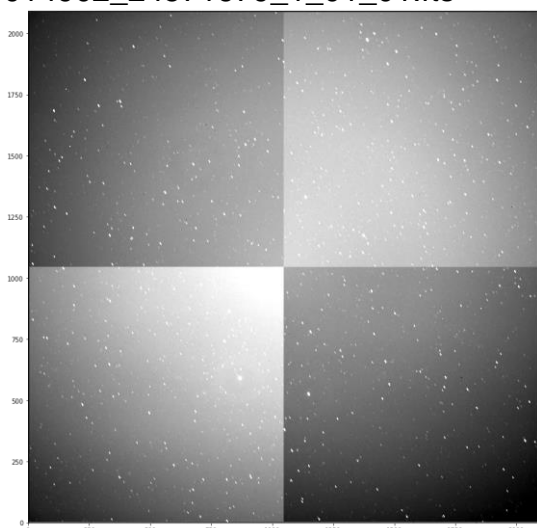
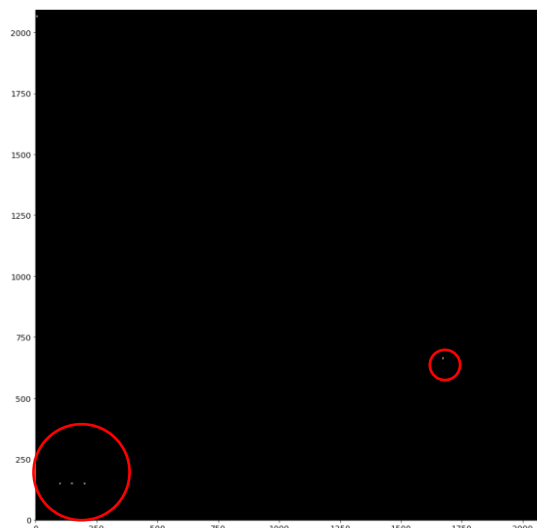
014704\_24571719\_1\_01\_01.fts



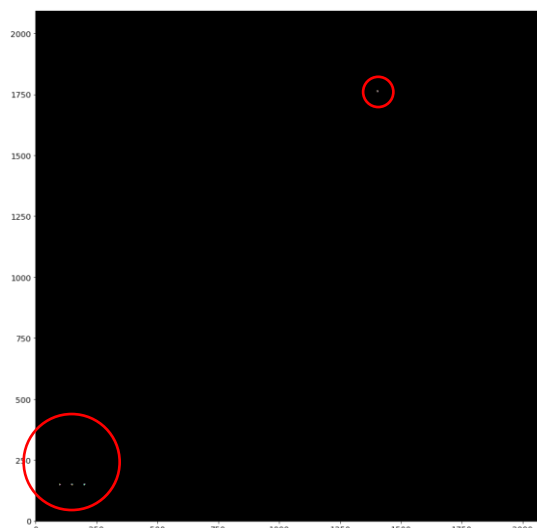
014704\_24571719\_2\_01\_01.fits

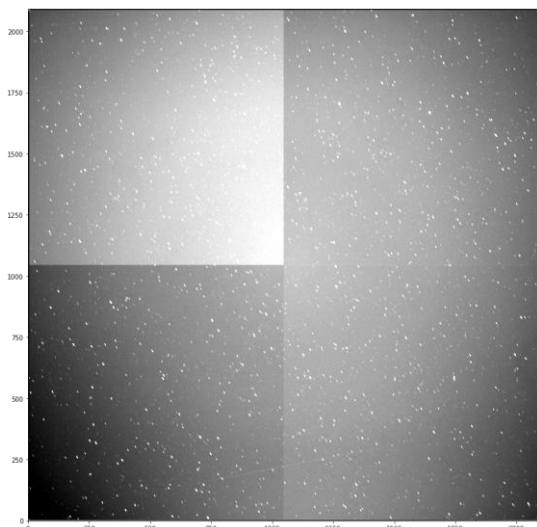


014902\_24571679\_1\_01\_01.fits

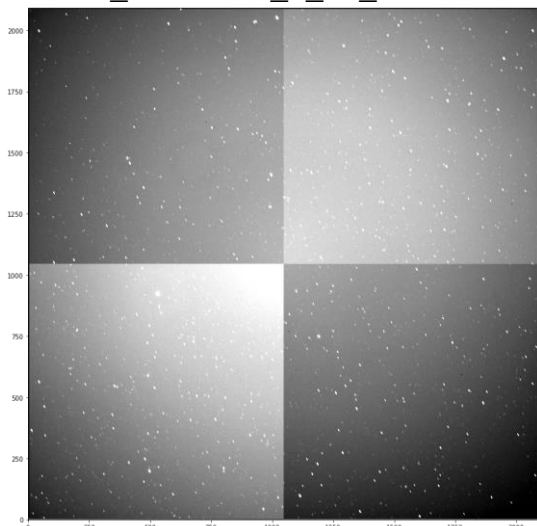
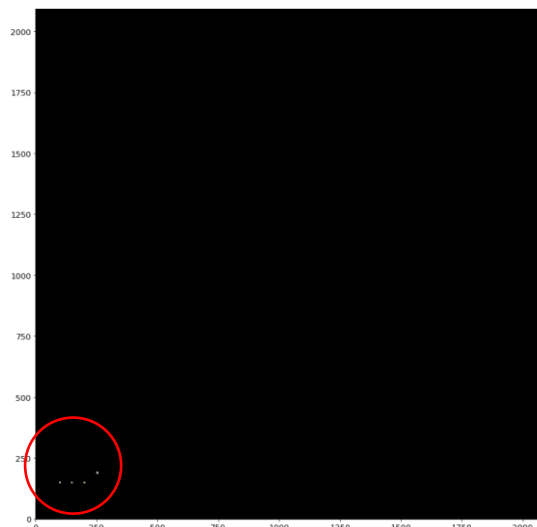


014902\_24571679\_2\_01\_01.fits

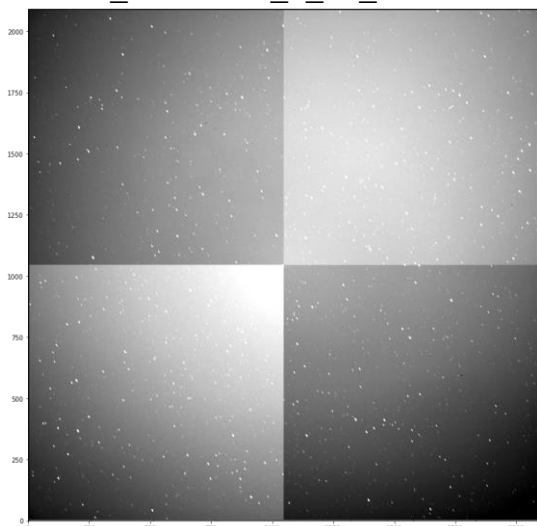
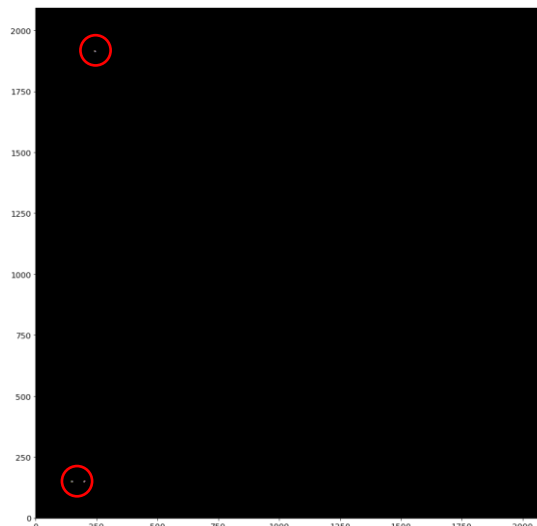




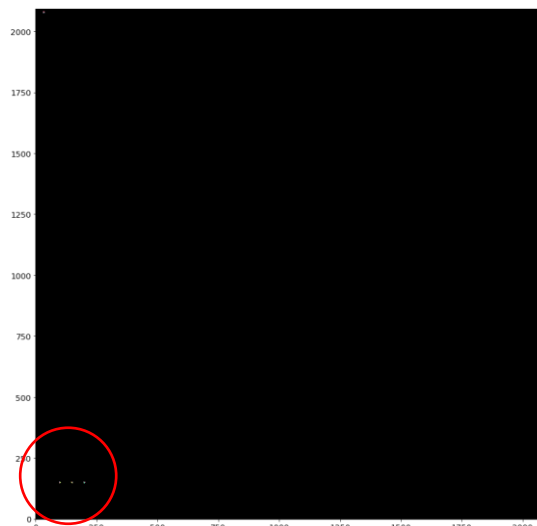
015059\_24571639\_1\_01\_01.fits

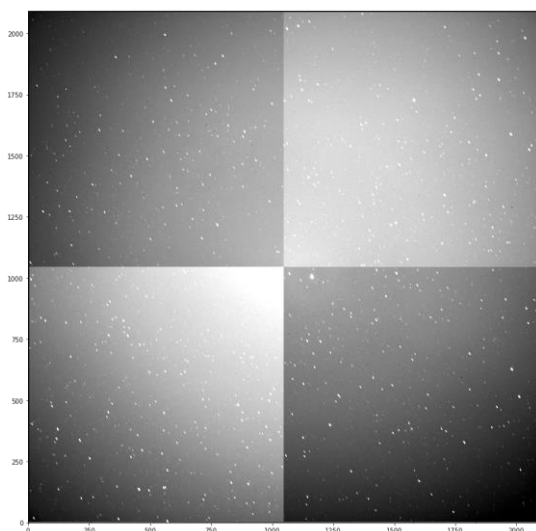


015300\_24571756\_1\_01\_01.fits

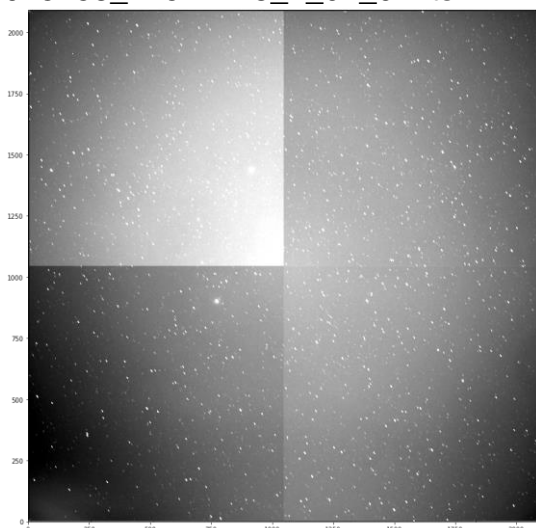
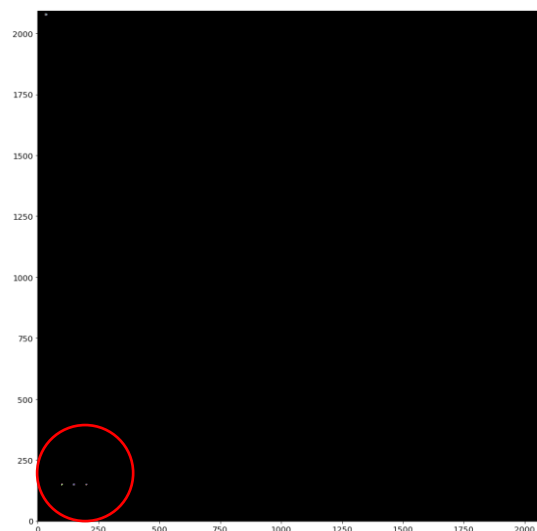


015458\_24571718\_1\_01\_01.fits

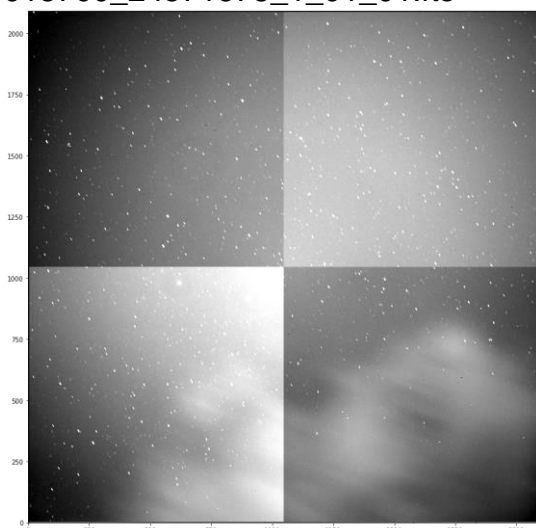
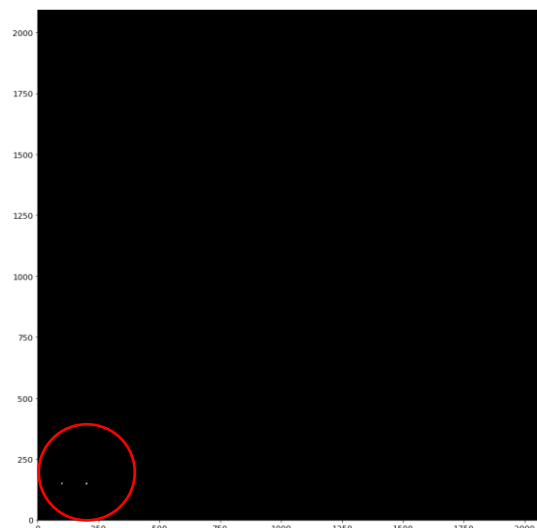




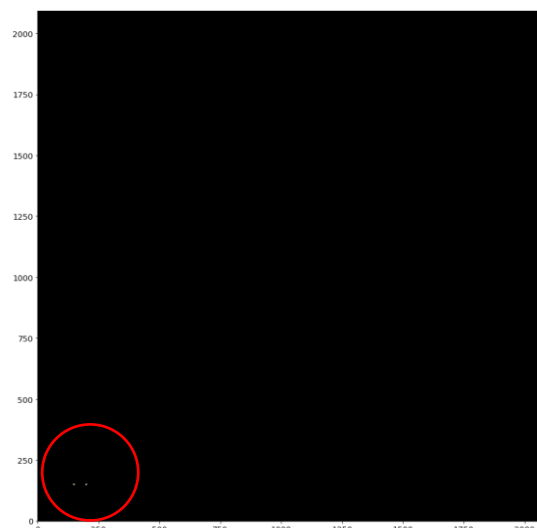
015458\_24571718\_2\_01\_01.fts



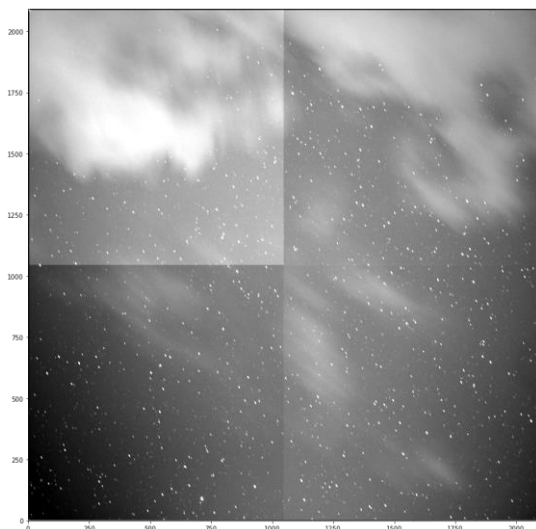
015700\_24571678\_1\_01\_01.fts



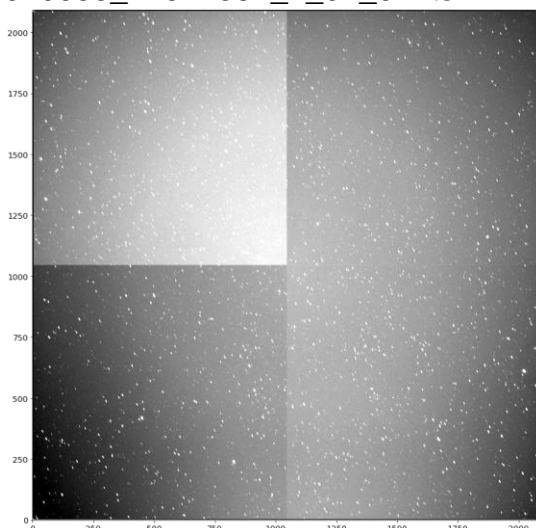
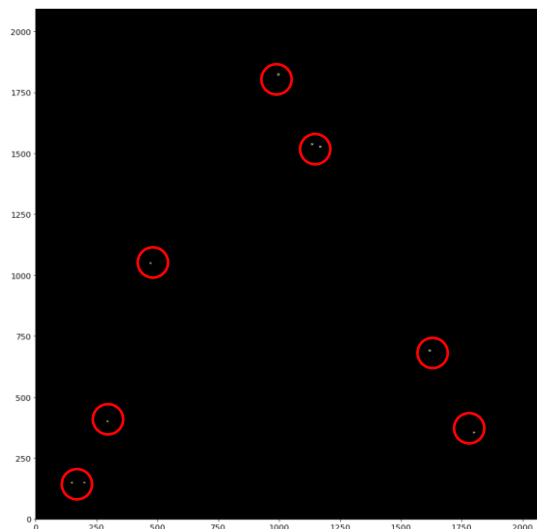
015859\_24571638\_2\_01\_01.fts



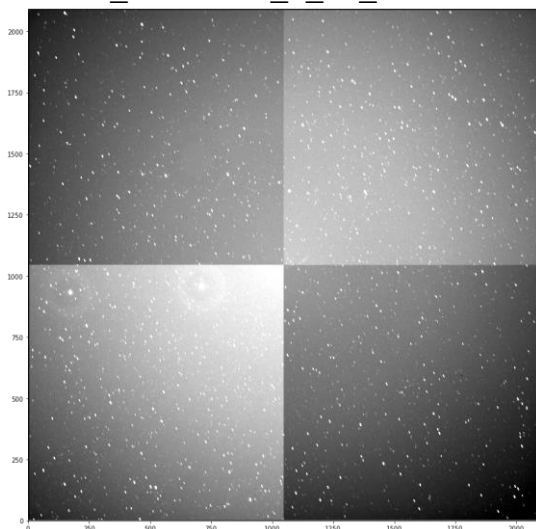
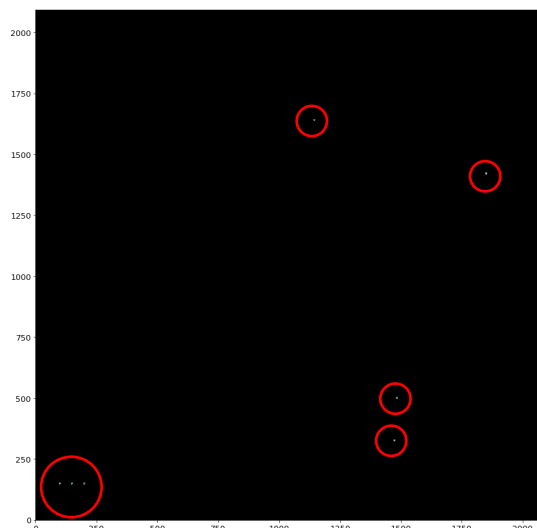




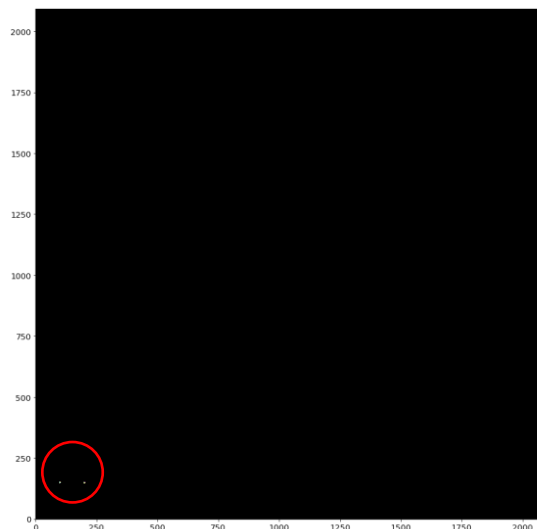
020055\_24571597\_2\_01\_01.fts

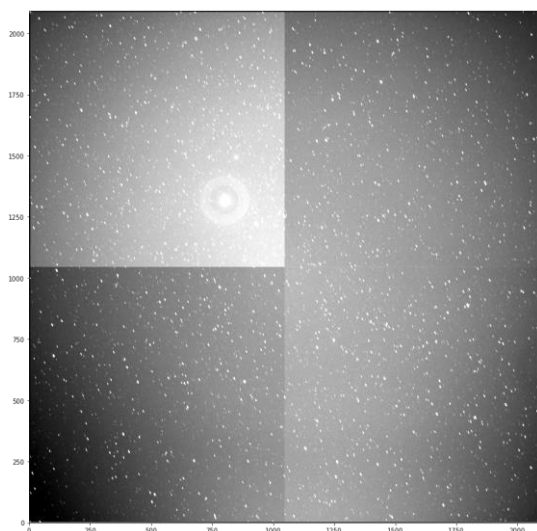


020251\_24571559\_1\_01\_01.fts

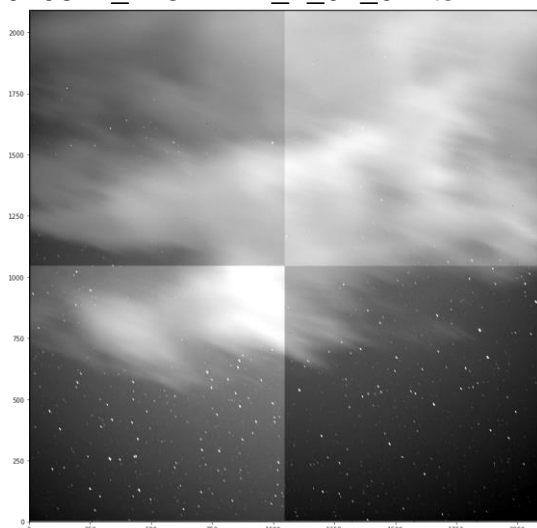
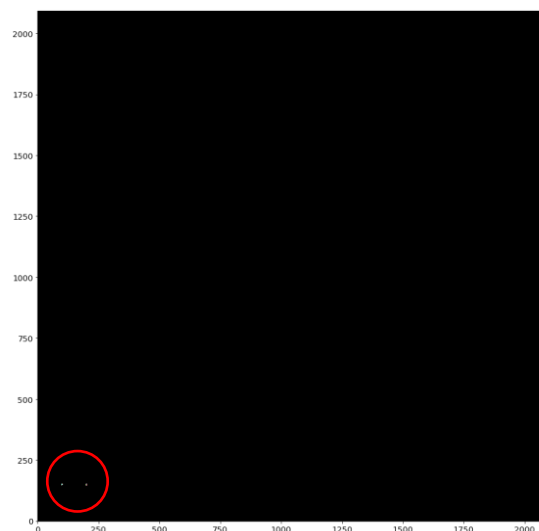


020251\_24571559\_2\_01\_01.fts

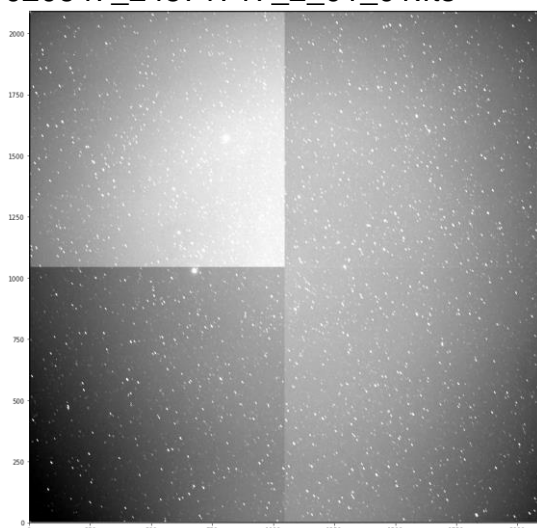
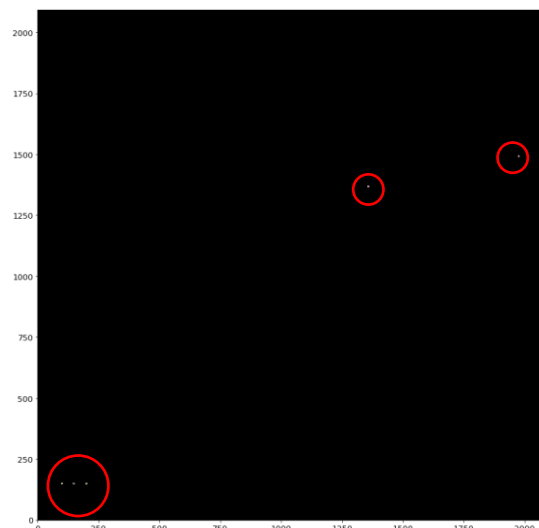




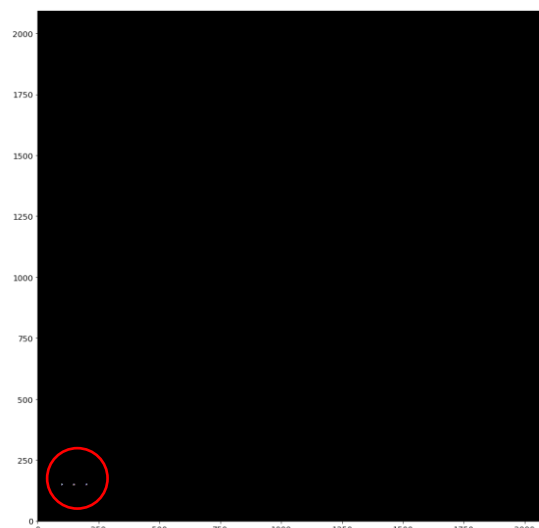
020647\_24571717\_1\_01\_01.fits

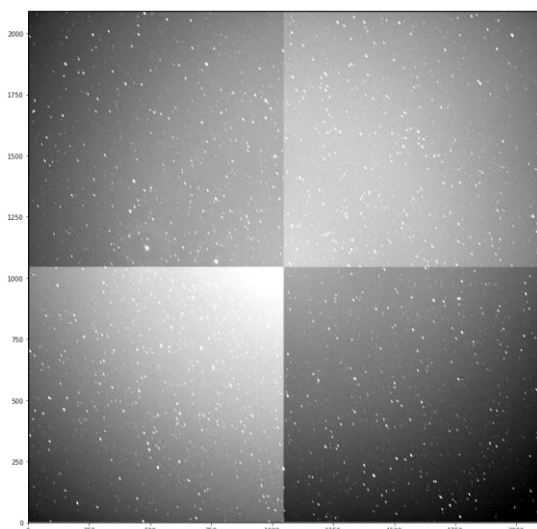


020647\_24571717\_2\_01\_01.fits

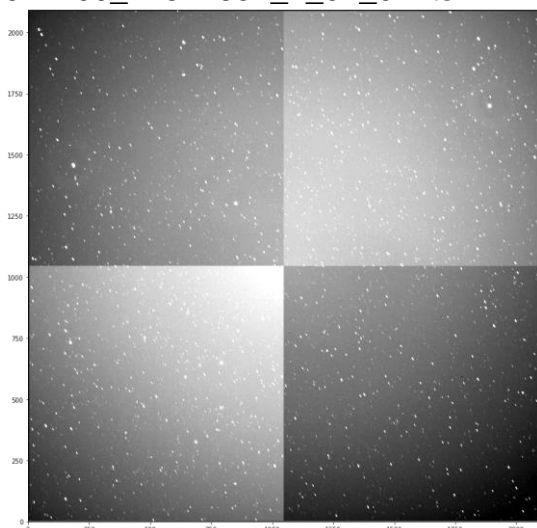
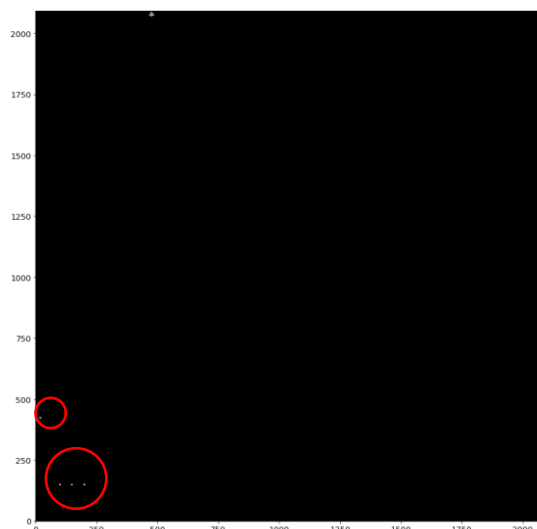


020844\_24571677\_1\_01\_01.fits

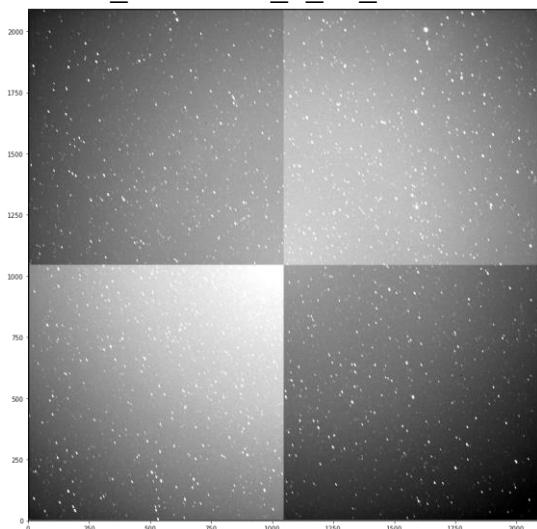
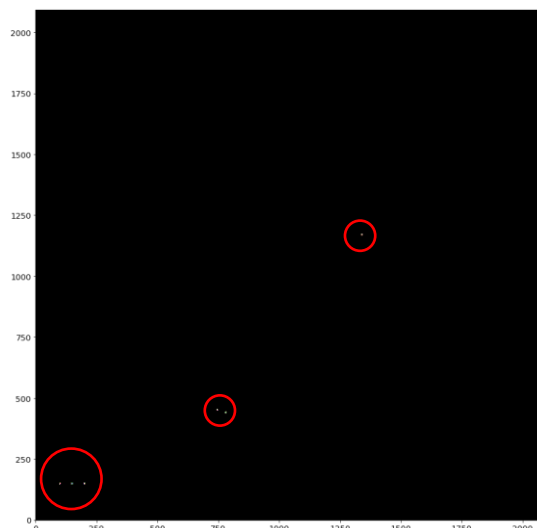




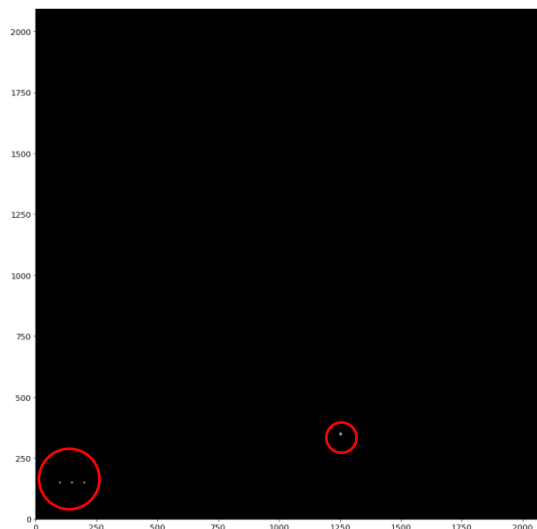
021100\_24571637\_1\_01\_01.fits

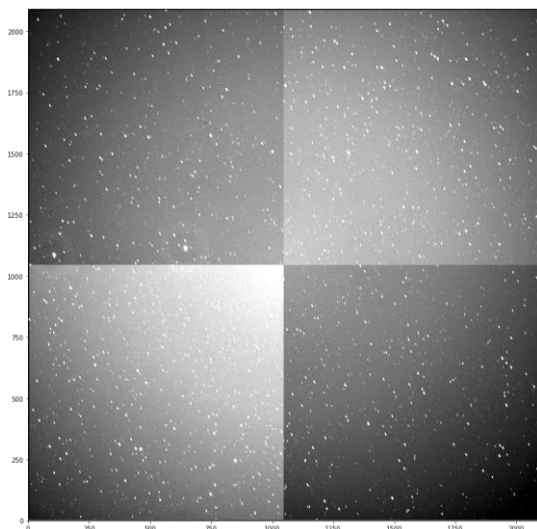


021256\_24571596\_1\_01\_01.fits

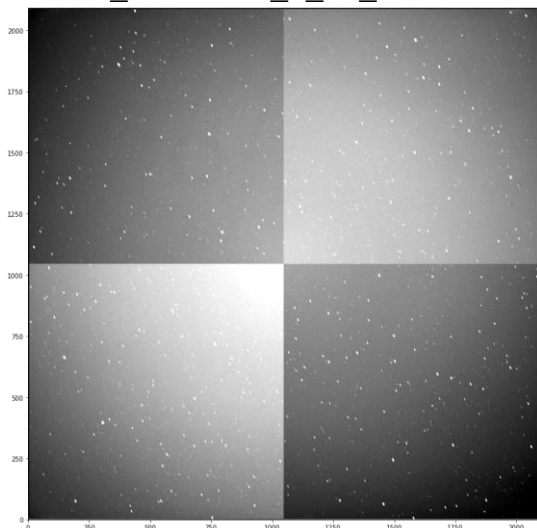
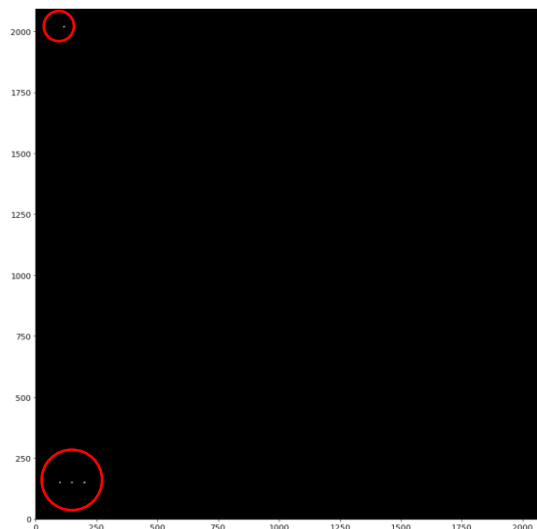


021455\_24571558\_1\_01\_01.fits

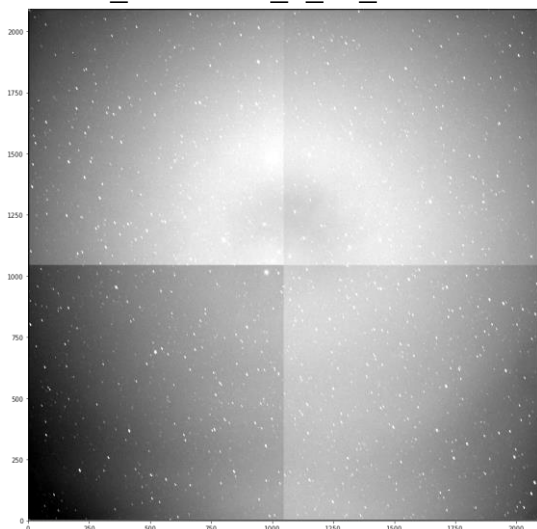
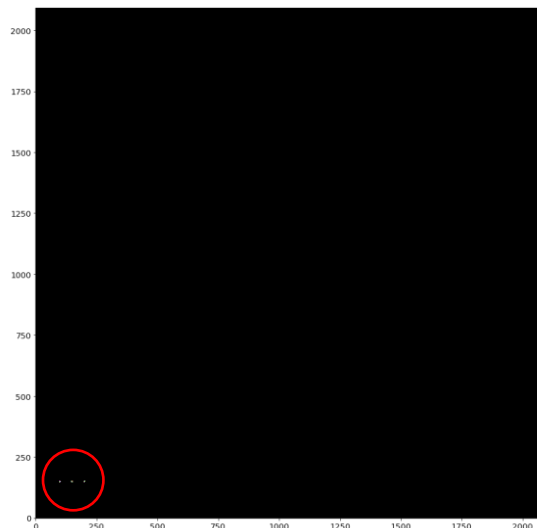




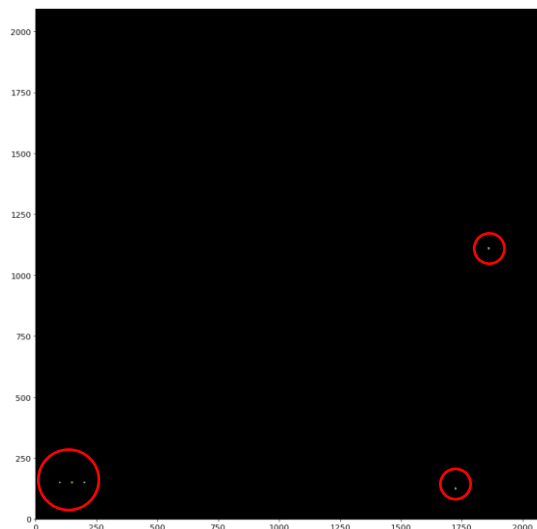
023613\_24571562\_1\_01\_01.fits

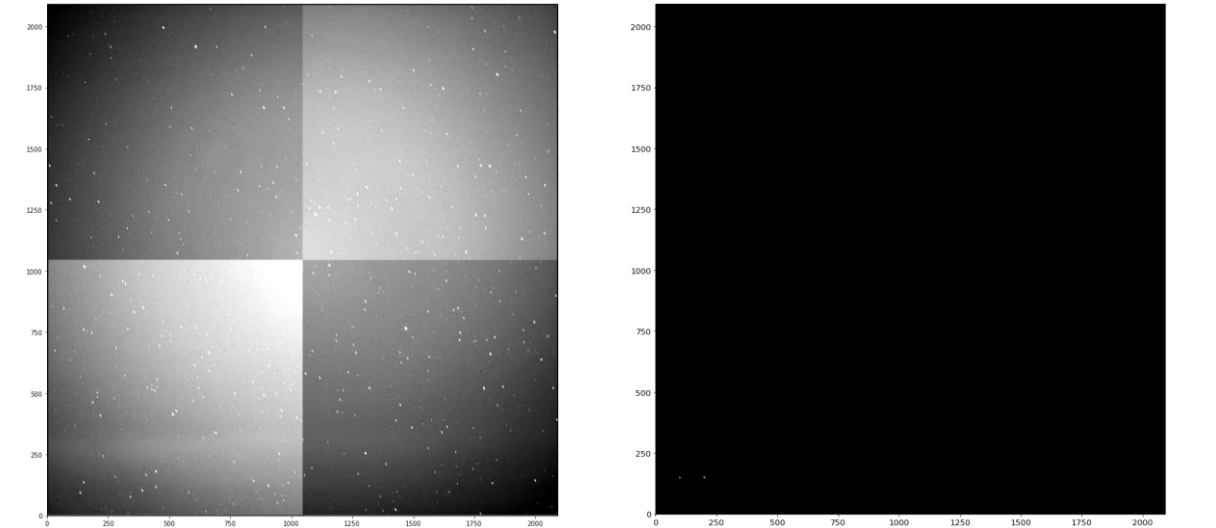


024648\_24572570\_2\_01\_01.fits



025517\_24572570\_1\_01\_01.fits





## APENDICE C: Código em Python utilizando a biblioteca Photutils para encontrar objetos nas imagens

### IMPORTAR BIBLIOTECAS

```
from astropy.io import fits
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import cv2
```

### LER AS IMAGENS

```
imagen = fits.getdata("021455_24571558_1_01_01.fits", ext=0)
```

### IMPORTAR BIBLIOTECAS DE PHOTUTILS

```
import numpy as np
from astropy.table import Table
from photutils.datasets import make_gaussian_sources_image
```

```
sigma_psf = 0.5
sources = Table()
sources['flux'] = [3000, 4000, 5000, 2200]
sources['x_mean'] = [100, 150, 200, 250]
sources['y_mean'] = [150, 150, 150, 150]
sources['x_stddev'] = sigma_psf*np.ones(4)
sources['y_stddev'] = sources['x_stddev']
```

```
sources['theta'] = [100, 100, 100, 100]
sources['id'] = [1, 2, 3, 4]
tshape = (2092, 2092)
image = (make_gaussian_sources_image(tshape, sources) + img)
```

## DEFINIR LIMITE DE DETECÇÃO

```
bkg_estimator = MedianBackground()
bkg = Background2D(image, (10,10), filter_size=(5,5),bkg_estimator=bkg_estimator)
threshold = bkg.background + (5. * bkg.background_rms)
```

## SUAVIZAR A IMAGEM E SEGMENTAR A IMAGEM

```
sigma = 3.0 * gaussian_fwhm_to_sigma # FWHM = 3
kernel = Gaussian2DKernel(sigma, x_size=3, y_size=3)
kernel.normalize()
npixels = 3
segm = detect_sources(image, threshold, npixels = npixels, filter_kernel = kernel, connectivity = 4
)
segm_deblend = deblend_sources(image, segm, npixels = npixels, filter_kernel = kernel, nlevels
= 100, contrast = 0)
```

## NORMALIZE A IMAGEM E IMPRIMA A IMAGEM SEGMENTADA

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from astropy.visualization import SqrtStretch
from astropy.visualization.mpl_normalize import ImageNormalize
norm = ImageNormalize(stretch = SqrtStretch())
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize = (30,30))
ax1.imshow(image, origin = 'lower', cmap = 'Greys_r', norm=norm)
ax1.set_title('Data')
cmap = segm.make_cmap(seed = 123)
ax2.imshow(segm, origin= 'lower', cmap = cmap, interpolation = 'nearest')
ax2.set_title('segmentation_image')
```

## ENCONTRAR O ALONGAMENTO E A ÁREA

```
from photutils import source_properties
cat = source_properties(image, segm_deblend)
tbl = cat.to_table()
tbl['xcentroid'].info.format = '.2f' # optional format
tbl['ycentroid'].info.format = '.2f'
tbl['cxx'].info.format = '.2f'
tbl['cxy'].info.format = '.2f'
tbl['cyy'].info.format = '.2f'
tbl['gini'].info.format = '.2f'
```

```
print(tbl)
print(type(tbl))
cat = source_properties(image, segm)
columns = ['id', 'elongation', 'area']
tbl3 = cat.to_table(columns=columns)
print(tbl3)
```

## **FONTES DE FILTRO COM ALONGAMENTO MAIOR DE 1,2 E ÁREA MENOS DE 10**

```
id_area_menor = []
for i,j,k in tabla:
    if j > 1.2 or k < 10:
        id_area_menor.append(i)
```

## **FONTES DE MÁSCARA COM ALONGAMENTO MAIOR DE 1,2 E ÁREA MENOS DE 10**

```
segm.remove_labels(labels)
segm.data
```

## **IMPRIMIR RESULTADO FINAL**

```
cmap = segm.make_cmap(seed=123)
plt.figure(figsize = (15,15))
plt.imshow(segm, origin ='lower', cmap=cmap)
```

## **APÊNDICE D: Estimativa de tamanho de satélites geossíncronos por imagem direta**

Neste caderno, analisamos os dados observacionais de possível lixo orbital na órbita GEO fotografada por Úsuga et al. (2019) e tentou calcular suas dimensões físicas com base apenas no tamanho do pixel. Depois que o resultado obtido foi encontrado impossivelmente grande, análises posteriores demonstraram que é, de fato, impossível resolver um objeto em órbita geoestacionária devido ao limite impossível pela visão atmosférica. Pelo menos por métodos convencionais de observação.

```

# REPLACE OBSERVATIONAL DATA HERE
# Observation Data (From the Headers)
time = "2019-09-03 01:35:53.71967"
RA = 340.9520 # degrees
DEC = # degrees

# Calculated Area
area = 15 # pix^2

import numpy as np

# IMPORTING ASTROPY FUNCTIONS
from astropy.time import Time
from astropy.coordinates import SkyCoord, EarthLocation
from astropy.constants import GM_earth, R_earth
import astropy.units as u

```

Depois de limpar a Terceira Lei de Kepler do movimento planetário, é fácil obter isso:

$$= \sqrt[3]{\frac{T^2 GM}{4\pi^2}}$$

Onde  $a$  é o semi-eixo principal da órbita. A primeira suposição é dizer que a órbita em questão é circular, caso em que o semi-eixo maior também é o raio orbital. Então, a altura sobre a superfície da Terra é obtida por:

$$H = a - R_{\oplus}$$

Então, a segunda suposição é que  $T = 24\text{h}$  de modo que a órbita seja GEO. Nesse caso, HGEO é:

```

# GEO height over the surface
T = u.day.to(u.s)*u.s # Earth rotation period (24h)
H_GEO = ((T**2 * GM_earth).decompose() / (4 * np.pi**2))**(1/3) - R_earth
H_GEO # GEO height obtained with Kepler's Third Law
# ASSUMPTIONS: Orbit is circular and geostationary
35862994m

H_GEO.to(u.earthRad)
5.6228335R_{\oplus}

```

### Calculando a posição do objeto

Primeiramente, as coordenadas geocêntricas do objeto serão calculadas pelo tempo de observação e suas coordenadas equatoriais.



```

# GET OBJECT POSITION
def get_lon(TIME,RA):
    """
    This function outputs the earth longitude at which an object with a certain RA
    at a certain time will be at the meridian, or directly overhead.
    """
    T = Time(TIME)
    TS = T.sidereal_time('apparent', 'greenwich').to(u.deg)
    return RA - TS.value

```

```
time = Time(time)
```

```

# Object Data
obj = {
    "Longitude": get_lon(time,RA),
    "Latitude": DEC,
    "Altitude": H_GEO.value,
}

```

```

# Observatory m
obs = {
    "Longitude": -45.5825,
    "Latitude": -22.5344,
    "Altitude": 1864,
}
get_lon(time,RA)
335.07317921026583

```

## Alguns cálculos de vetor

```
# DEFINE VECTOR FUNCTIONS
```

```
# Obtains the Astropy Position Vector of given earth coordinates
```

```
pos = lambda x: EarthLocation(lon=x['Longitude']*u.deg,
                              lat=x['Latitude']*u.deg,
                              height=x['Altitude']*u.m)
```

```
# Obtains the difference between two Astropy Vectors
```

```
vecdiff = lambda a,b: (a.x.value-b.x.value,
                      a.y.value-b.y.value,
                      a.z.value-b.z.value)
```

```
# Obtains the magnitude of a vector
```

```
dist = lambda v: np.linalg.norm(v) #Porque el argumento de la función es v, no debería ser vecdiff
?
```

```
# CALCULATE DISTANCE TO OBJECT
```

```
pos_obs = pos(obs)
```

```
pos_obj = pos(obj)
```

```

distance_to_obj = dist(vecdiff(pos_obs,pos_obj))*u.m
distance_to_obj.to(u.earthRad)
5.7336185R⊕
pos_obj
(38020251,-17670050,-5149386.1)m

```

### Propriedades do telescópio e CCD

Para esta estimativa, é importante descobrir a resolução do CCD, que é a relação entre o tamanho angular e os pixels no CCD. O resultado deve ser em '' / px, que é um arco de segundo por pixel.

O cálculo é feito dividindo o FOV do telescópio pelo comprimento do CCD em pixels:

```

# Other constants
f = 817.5 * u.mm # Telescope's focal distance
D = 25 * u.cm # Telescope's aperture
FOV = 7 * u.deg # Telescope's field of view
CCD_pix = 2092 * u.pix # CCD size in pixels
CCD_L = 50.21 * u.mm # CCD size in mm

# Scale of the CCD
CCD_res = (FOV/CCD_pix).to(u.arcsec/u.pix)
CCD_res
12.045889pix"

```

### Calculating Angular Size

Assumindo a forma circular, pode-se obter o tamanho angular limpando a equação  $A = \pi(D/2)^2$  em  $D = 2\sqrt{A/\pi}$

```

# CALCULATING ANGULAR SIZE
area = area * u.pix**2
size_pix = 2 * (area / (np.pi))**.5 # Diameter in pixels assuming circular form
size_arcsecs = size_pix * CCD_res
size_arcsecs

```

52.642869"

```

size_m = distance_to_obj * np.tan(size_arcsecs)
size_m

```

9333.2853m

### Discussão

Esse resultado é obviamente exagerado e nos faz repensar sobre a abordagem desse problema: Digamos que a resolução do CCD seja no máximo 12'' / px. Devido ao erro na fórmula, o valor real provavelmente é menor. Isso significa que se um objeto tiver exatamente 1 pixel de tamanho, ele terá 12'' de tamanho angular no céu.

Um satélite geoestacionário estaria no mínimo a  $5,6R_{\oplus}$  do observador. As coordenadas do observador e a diferença entre os comprimentos tornarão essa distância maior na prática.

Com essas informações, o cálculo do tamanho resolvível geoestacionário mínimo é o seguinte:

```
min_angle = 12 * u.arcsec
min_dist = 5.6 * u.earthRad
min_size = min_dist * np.tan(min_angle)
min_size.to(u.m)
2077.9518m
```