



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL  
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO  
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

**PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

**HUGO GABRIEL DE MELO SANTOS**  
**MATEUS FERNANDO FELISMINO DA SILVA PATRIOTA**

MACEIÓ, 27 DE ABRIL DE 2022.

## **RELATÓRIO DE PESQUISA**

**HUGO GABRIEL DE MELO SANTOS**  
**MATEUS FERNANDO FELISMINO DA SILVA PATRIOTA**

Relatório de processamento digital de sinais,  
com foco em pesquisa na área de  
processamento de imagens, sob orientação  
do prof. Tiago Figueredo Vieira.

MACEIÓ, 27 DE ABRIL DE 2022.

## **SUMÁRIO**

<b>1. BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL</b>	<b>3</b>
<b>2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
<b>2.1. PESQUISA GERAL</b>	<b>4</b>
<b>2.2. PESQUISA ESPECÍFICA</b>	<b>5</b>
<b>3. CÓDIGO E EXECUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>8</b>

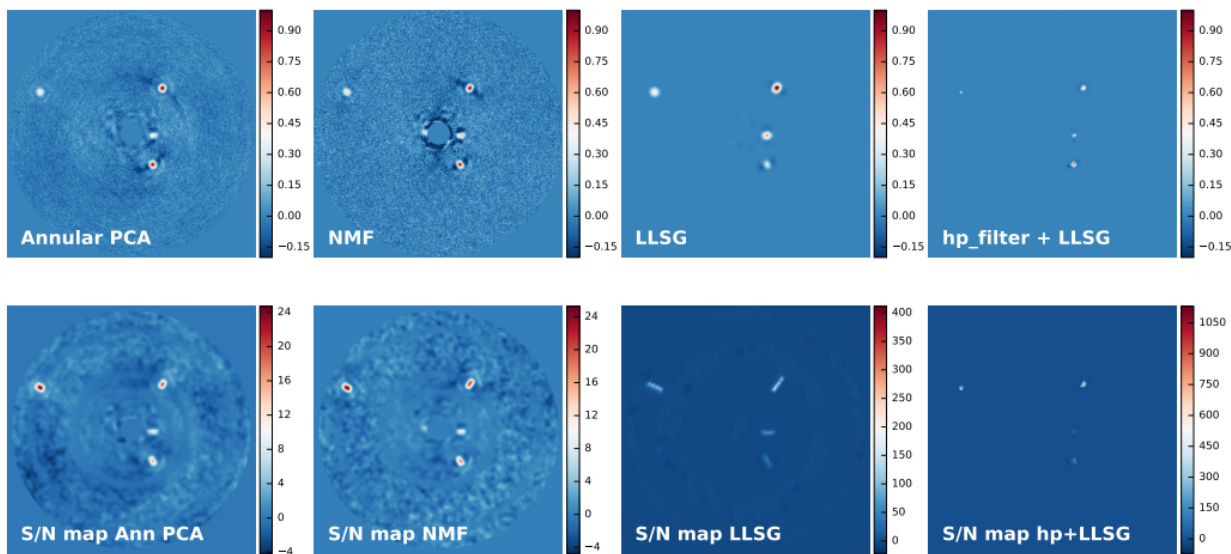
## 1. BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

O trabalho utilizado neste documento tem como foco e área de estudo o chamado processamento de imagem de vortex, mais especificamente na apresentação da biblioteca *VIP*, implementada na linguagem de programação *python* com objetivo em implementação de funcionalidades para construir pipelines de processamento de dados de alto contraste, abrangendo algoritmos de pré e pós-processamento, posição de fontes potenciais.

Outrossim, a publicação inclui vários tipos de algoritmos baseados em análise de componentes principais (PCA), como PCA anular e algoritmo PCA incremental capaz de processar grandes cubos de dados (de vários gigabytes) em um computador com memória limitada. Além disso, é apresentado um novo algoritmo ADI baseado em fatoração matricial não negativa (NMF), que vem da mesma família de aproximações de matrizes de baixo posto que o PCA e fornece bastante similares resultados.

Além disso, ao final do artigo podemos ver o resultado do uso das técnicas para identificar corpos próximos à estrela denotada de *HR8799*.

**Figura 01: Exemplo de imagem presente no trabalho, utilizando mudança no contraste com objetivo de encontrar corpos celestes ao redor de outro referencial.**



Fonte: Gonzalez, 2017

## 2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PESQUISA GERAL

Essa seção expõe os resultados obtidos em pesquisas no âmbito geral utilizando mecânicos de pesquisas como *google scholar*, por exemplo, além de leituras realizadas nas bibliotecas relacionadas ao projeto presente no artigo principal deste trabalho.

#### 2.1.1. BIBLIOTECA VIP

VIP significa Processamento de Imagem Vortex. É um pacote python para imagens de alto contraste de exoplanetas e discos circunstelares. O VIP é compatível com o Python 3.7, 3.8 e 3.9 (a compatibilidade com o Python 2 caiu com o VIP 0.9.9).

O objetivo do VIP é integrar implementações de código aberto, eficientes, fáceis de usar e bem documentadas de algoritmos de processamento de imagem de alto contraste para a comunidade científica interessada. O repositório principal do VIP reside no GitHub, o padrão para distribuição científica de código aberto, usando o Git como sistema de controle de versão.

#### 2.1.2. PYNPOINT: UM PACOTE DE PROCESSAMENTO PARA BUSCA DE EXOPLANETAS

Pacote de software baseado em Python que usa análise de componentes principais para detectar e estimar o fluxo de exoplanetas em dados de imagem bidimensionais.

Avanços recentes em óptica adaptativa e tecnologia de imagem em comprimentos de onda visível e infravermelhos abriram a porta para detecções diretas de companheiros planetários para estrelas próximas, mas as técnicas de processamento de imagem ainda precisam ser otimizadas. É mostrado que o desempenho de nossa abordagem oferece uma melhoria acentuada em relação ao que é atualmente possível usando métodos existentes, como o LOCI.

#### 2.1.3. MÉTODOS DE DETECÇÃO DE EXOPLANETAS

Os primeiros planetas encontrados orbitando estrelas semelhantes ao Sol foram detectados pela técnica da velocidade radial. Uma única estrela desprovida de um sistema planetário terá seu centro de gravidade localizado no centro da estrela. No entanto, quando um planeta orbita uma estrela, o centro de gravidade do sistema estrela-planeta fica deslocado do centro da estrela, fazendo com que a estrela "*oscile*" para frente e para trás, da perspectiva de um observador, tanto a estrela quanto a estrela. planeta orbitam seu centro de massa comum. Mudanças sutis na velocidade radial (linha de visão) da estrela podem – em princípio – ser medidas para revelar a presença de planetas invisíveis. Pode-se observar a utilização do método no link do vídeo a seguir: [https://youtu.be/4u\\_dVKKRoPw](https://youtu.be/4u_dVKKRoPw).

Outrossim, a velocidade radial foi o principal método para detectar exoplanetas até o início deste século, quando a queda periódica na luz estelar decorrente do trânsito de um planeta pela face de sua estrela hospedeira foi feita por David Charbonneau (do

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics ) e colegas. O planeta que ele detectou, conhecido como HD 209458b, já era conhecido pelo método de velocidade radial, então o primeiro planeta realmente descoberto pelo método de trânsito foi OGLE-TR-56b, detectado em 2003 por Maciej Konacki (do California Institute of Technology ) e colegas.

## 2.2. PESQUISA ESPECÍFICA

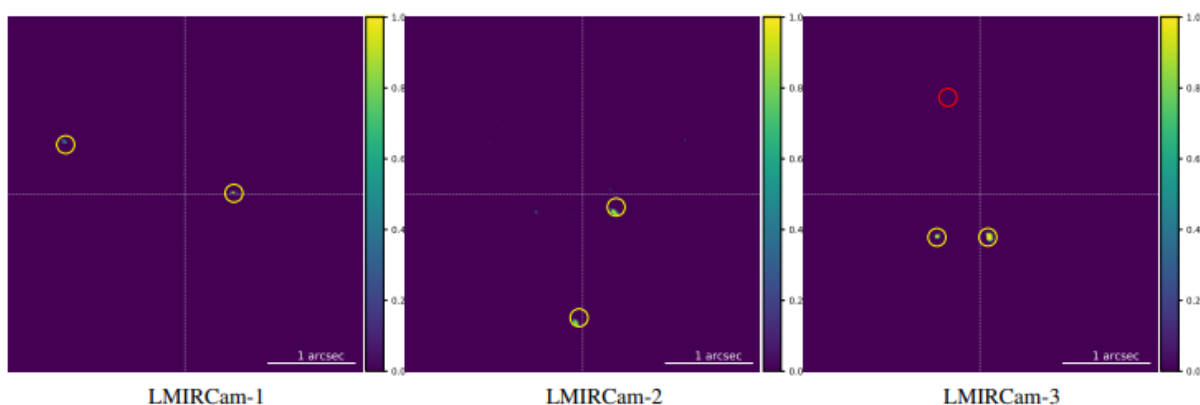
Essa seção tem como objetivo a exposição de artigos científicos publicados em periódicos, revistas e conferências com área relacionada ao tema principal deste trabalho. Vale lembrar que os artigos possuem certa atualidade, considerando 5(cinco) anos de margem.

### 2.2.1. Auto-RSM: An automated parameter-selection algorithm for the RSM map exoplanet detection algorithm

Recentemente, um novo algoritmo chamado mapa de modelo de comutação de regime (RSM) foi proposto para aproveitar essas vantagens. inúmeras técnicas de subtração de PSF; O RSM usa várias dessas técnicas para gerar um único mapa de probabilidade. Seleção de parâmetros ótimos para essas técnicas de subtração PSF, bem como para o mapa RSM, não é simples, é demorado e pode ser influenciado por suposições feitas sobre o conjunto de dados subjacente. Mira.

O Trabalho apresentado propõe um novo procedimento de otimização que pode ser aplicado a cada uma das técnicas de subtração PSF, ou a todo o Estrutura RSM. O procedimento de otimização consiste em três etapas principais: (i) definição do conjunto ótimo de parâmetros para as técnicas de subtração PSF usando o contraste como métrica de desempenho, (ii) otimização do algoritmo RSM e (iii) seleção do conjunto ideal de técnicas de subtração de PSF e sequências ADI usadas para gerar o mapa de probabilidade RSM final

Figura 02: Mapas de detecção correspondentes aos nove conjuntos de dados do EIDC, gerados com a versão full-frame do auto-RSM usando o método bottom-up abordagem para a seleção do conjunto ótimo de cubos de probabilidades, bem como abordagem direta para o cálculo das probabilidades. O os círculos amarelos estão centrados na verdadeira posição dos alvos detectados (TP) e os círculos vermelhos dão as verdadeiras posições dos FNs.



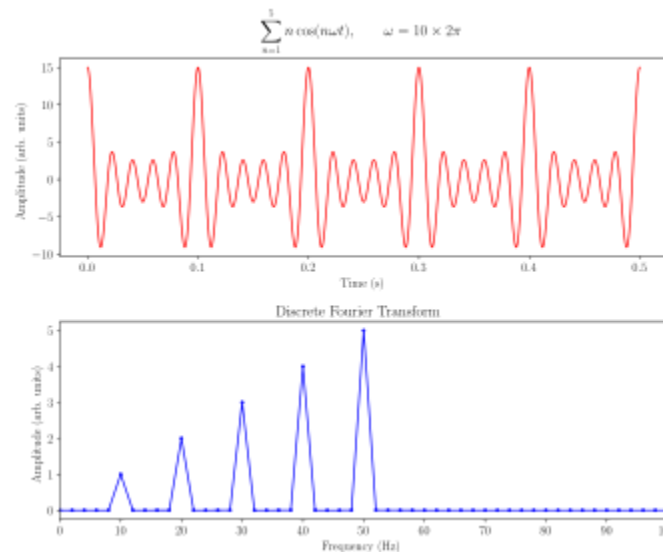
Fonte: Dahlgvist1, 2021

### 2.2.2. Fast Fourier method for the accurate rotation of sampled images

Atualmente, os melhores métodos para rotação de imagens amostradas discretas usam uma combinação de interpolação de Fourier (rápida) seguido por interpolação cúbica em uma grade girada. É apresentado um método que utiliza apenas a interpolação de Fourier. O novo tem uma complexidade computacional semelhante ao antigo, e é exatamente reversível.

O método usa o conhecido decomposição da rotação em três tesouras puras. Cada cisalhamento é realizado usando uma extensão 2D do deslocamento 1D de Fourier teorema. Isso permite que a transformada rápida de Fourier (FFT) seja usada. Com preenchimento de dados apropriado (como preenchimento zero) em tanto no domínio real quanto no de Fourier, o procedimento dá resultados quase perfeitos e perda mínima de informação em múltiplos teste de rotação;

Figura 03: Análise discreta de Fourier de uma soma de ondas cosseno em 10, 20, 30, 40 e 50 Hz;



Fonte: Autor;

### 2.2.3. A New High Contrast Imaging Program at Palomar Observatory

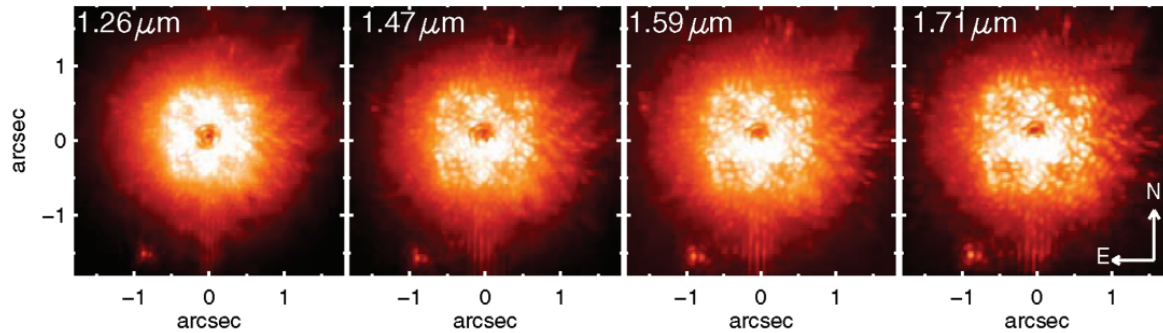
Descreve um novo instrumento que forma o núcleo de um programa de imagem de alto contraste de longo prazo em um Telescópio Hale de 200 polegadas (5 m) no Observatório Palomar.

O principal objetivo científico é obter imagens e espectroscopia de baixa resolução de anãs marrons e exoplanetas jovens de várias massas de Júpiter nas proximidades de estrelas dentro de 50 pc do Sol.

O instrumento é um espectrógrafo de campo integral baseado em microlentes integrado com um coronógrafo Lyot de pupila apodizada limitada por difração. Toda a combinação é montada atrás da óptica adaptativa Palomar (AO). O espectrógrafo obtém imagens em 23 canais nas bandas J e H (1,06–1,78  $\mu\text{m}$ ). O plano de imagem do nosso espectrógrafo é subdividido por uma matriz de microlentes de 200  $\times$  200 elementos com uma escala de placa

de 19,2 mas por microlente, amostrando criticamente a função de dispersão de ponto limitada por difração a  $1,06 \mu\text{m}$

Figura 04: observação corográfica do espectrógrafo de campo integral e coronógrafo.



Autor: Observatório Palomar.

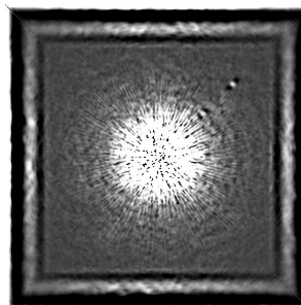
## 2.2.4. IMAGING SPECTROSCOPY FOR EXTRASOLAR PLANET DETECTION

O trabalho propõe que imagens coronográficas em combinação com resolução espectral moderada a alta de início podem ser mais eficazes na detecção de planetas extra-solares e caracterizá-los do que uma abordagem de imagem corona gráfica padrão. Além disso, imagine um espectrógrafo de campo integral acoplado a um coronógrafo para produzir um cubo de dados de duas dimensões espaciais e um comprimento de onda.

Para o caso idealizado em que o espectro da estrela é bem conhecido e imutável em todo o campo, discutimos a utilidade da correlação cruzada para procurar o sinal do planeta extra-solar e descreva uma abordagem matemática para eliminar completamente a luz difusa da estrela hospedeira (embora não seja o ruído de Poisson).

Para o caso em que a função point-spread (PSF) é dominada por efeitos de difração e espalhamento e compreende uma infinidade de manchas dentro de um padrão Airy, típico de uma observação baseada no espaço, transformamos a dependência do comprimento de onda do PSF em vantagem e apresentar uma maneira geral de eliminar a contribuição da estrela, preservando o fluxo e o espectro do planeta extra-solar.

Figure 05: Imagem espectralmente colapsada do reconstruído, subtraído cubo de dados mostrando uma detecção de 20 de um planeta joviano



Fonte: Sparks, 2018;



### **2.2.5. Bayesian Model Selection and Extrasolar Planet Detection**

A descoberta de cerca de 200 planetas extra-solares durante a última década revitalizou o interesse científico na física da formação dos planetas e inaugurou uma nova era para a astronomia. Os astrônomos que procuram os pequenos sinais induzidos pelos planetas inevitavelmente enfrentam desafios estatísticos significativos.

Por exemplo, buscas de planetas de velocidade radial (RV) que descobriram a maioria dos planetas conhecidos estão cada vez mais encontrando planetas com pequenas amplitudes de velocidade, com longos períodos orbitais, ou em múltiplos sistemas planetários. A inferência bayesiana tem o potencial para melhorar a interpretação das observações existentes, o planejamento de observações futuras e, finalmente, inferências sobre a população geral de planetas.

### **2.2.6. Exoplanet Detection Methods**

Descreve vários métodos de detecção de companheiros planetários para estrelas de uma perspectiva observacional, com foco em velocidades radiais, astrometria, imagem, trânsitos e microlentes gravitacionais.

Para cada método, este capítulo primeiro deriva ou resume os fenômenos básicos observáveis que são usados para inferir a existência de companheiros planetários, bem como as propriedades físicas dos planetas e estrelas hospedeiras que podem ser derivadas da medição desses sinais. Este trabalho, em seguida, descreve os requisitos experimentais gerais para detectar de forma robusta os sinais usando cada método, comparando sua magnitude com as fontes típicas de medição de incerteza.

### **2.2.7. A Face-Like Structure Detection on Planet and Satellite Surfaces Using Image Processing**

Este artigo demonstra que estruturas semelhantes a rostos estão em toda parte e podem ser detectadas automaticamente mesmo com computadores.

Uma enorme quantidade de imagens de satélite da Terra, da Lua e de Marte são exploradas e muitas estruturas interessantes semelhantes a faces são detectadas.

### **2.2.8. Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results**

A missão Kepler foi projetada para determinar a frequência de planetas do tamanho da Terra dentro e perto da zona habitável de estrelas semelhantes ao Sol. A zona habitável é a região onde as temperaturas planetárias são adequadas para a existência de água na superfície de um planeta.

Durante as primeiras 6 semanas de observações, o Kepler monitorou 156.000 estrelas, e cinco novos exoplanetas com tamanhos entre 0,37 e 1,6 raios de Júpiter e períodos orbitais de 3,2 a 4,9 dias foram descobertos

### **2.2.9. A New Technique for Image Compression Using PCA**

PCA é uma abordagem estatística amplamente utilizada em muitos campos de estudo. Recentemente, esta técnica é usada no processamento de imagens como uma ferramenta poderosa especialmente em reconhecimento de rosto e banco de dados de rosto com compressão. Ao trabalhar neste método em pesquisas recentes, esse método foi aprimorado e kernel PCA, 2D-PCA e alguns outros métodos foi introduzido; Neste trabalho um novo método é introduzido para comprimir uma dita *coloured image* usando a técnica de PCA.

#### **2.2.10. Hypercomplex auto- and cross-correlation of color images**

A autocorrelação e a correlação cruzada foram definidas e utilizadas no processamento de sinais e imagens por muitos anos, mas não para imagens coloridas ou vetoriais. Neste artigo é apresentado pela primeira vez uma definição de correlação aplicável a imagens coloridas, com base em quatérnios ou números hipercomplexos.

Foi criada uma visualização do resultado usando a forma polar de um quatérnio em que a cor denota o eixo próprio e a fase do quatérnio, e uma imagem em tons de cinza representa o módulo.

#### **2.2.11. Detection and performance analysis for a moving point source in speckle noise, application to exoplanet detection by direct imaging**

Com o desenvolvimento atual de instrumentos astronômicos capazes de detectar a luz direta de exoplanetas, como o grande instrumento de telescópio SPHERE, ferramentas estatísticas precisam ser desenvolvidas para fazer avaliações precisas de detecção e estimativa. Propomos um algoritmo de detecção que fornece uma estimativa da posição e da intensidade do exoplaneta potencialmente detectado.

Devido às restrições numéricas na tarefa de processamento de sinal, o detector-estimador é baseado em um modelo gaussiano simplificado onde usamos um efeito de rotação de campo como o principal critério de discriminação entre o planeta e os speckles. No entanto, para um determinado limite no teste estatístico, a probabilidade de alarme falso (PFA) e a probabilidade de detecção (PD) precisam ser precisas. Para isso usamos um modelo mais realista e a aproximação do ponto de sela para calcular o PFA e PD. O desempenho da aproximação é avaliado em um modelo de dados de ID.

#### **2.2.12. Detection of a Moving Source in Speckle Noise. Application to Exoplanet Detection**

Instrumentos astronômicos capazes de detectar a luz direta de planetas solares extras estão atualmente em desenvolvimento. Este trabalho foca em instrumentos que irão adquirir um conjunto de imagens sucessivas onde o planeta (a fonte em propósitos mais gerais) se move de maneira conhecida sobre um fundo pontilhado.

Ferramentas de processamento de sinal de alto desempenho são necessárias para explicar a relação sinal-ruído muito baixa dos dados.

No contexto astrofísico, o fundo surge principalmente da luz espalhada pela estrela-mãe. Um modelo de dados preciso, mais geral, foi proposto em trabalhos anteriores para descrever estatisticamente imagens ópticas levando em consideração a correlação espacial da amplitude do complexo da frente de onda. Primeiramente, é proposto um estimador da posição e da intensidade da fonte potencial.

Devido a vários tipos de restrições numéricas, ele é derivado de um modelo de dados gaussiano simplificado.

Sob restrições razoáveis sobre o movimento da fonte, os estimadores provaram ser consistentes, mesmo sob o modelo de dados preciso

### **2.2.13. Delay-Doppler radar imaging of "overspread" planets**

No trabalho é realizada a revisão do estado atual do projeto de sinal e métodos de processamento para planetários astronomia de radar. Extensões dessas técnicas necessários para imagens de alta resolução de objetos do sistema solar em rotação rápida são discutidas.

Observações de radar de grande largura de banda de tempo rapidamente planetas em rotação foram prejudicados no passado por sinais de projeto e complexidade computacional. Foi notado esse design de sinal estritamente baseado em alcance e alcance cruzado os requisitos de resolução podem levar a um desempenho abaixo do ideal na presença de ruído próprio.

## **3. CÓDIGO E EXECUÇÃO**

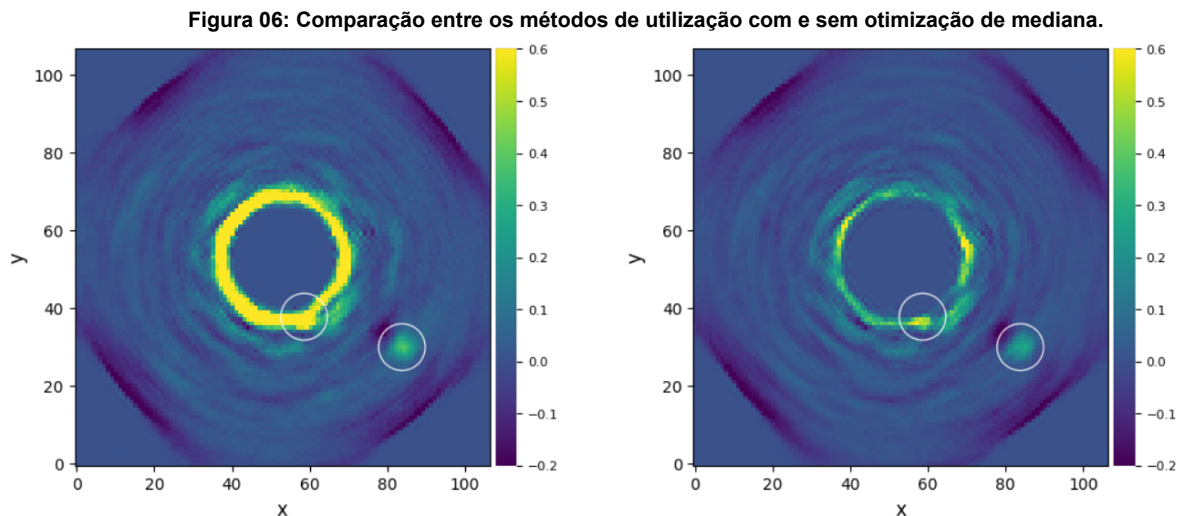
O código com a implementação está disponível no github da dupla, um readme presente irá informar sobre pacotes e dependências: <https://github.com/mffdsp/Digital Image Processing 2021 1>

## **4. EXPANSÃO E OTIMIZAÇÃO DO ARTIGO ORIGINAL**

Na otimização, inicialmente foi admitida a ideia de mudar os parâmetros utilizados pelo artigo original. Nesse contexto, a forma mais básica de aumentar o contraste da imagem IFS data é executando a chamada mediana-SDI (do inglês radial equivalent to median-ADI). Em nosso trabalho, mudamos os parâmetros de escala, inicialmente em 0.16 para valores arbitrários, além dos parâmetros para encontrar o fator de escala ideal para os canais de um Cubo IFS usando a função `find_scal_vector()`, função que encontra os fatores de escala ótimos (tanto em termos de escala geométrica quanto escala de fluxo), de modo que sua subtração produza resíduos mínimos.

Além disso, foi alterada também a imagem da máscara buscando resultados mais claros em relação ao artigo.

Porém após as alterações foi verificado que os parâmetros do artigo atendem bem o que é esperado e não foi possível melhorar de forma visível utilizando esses métodos. O resultado pode ser observado na figura 06.

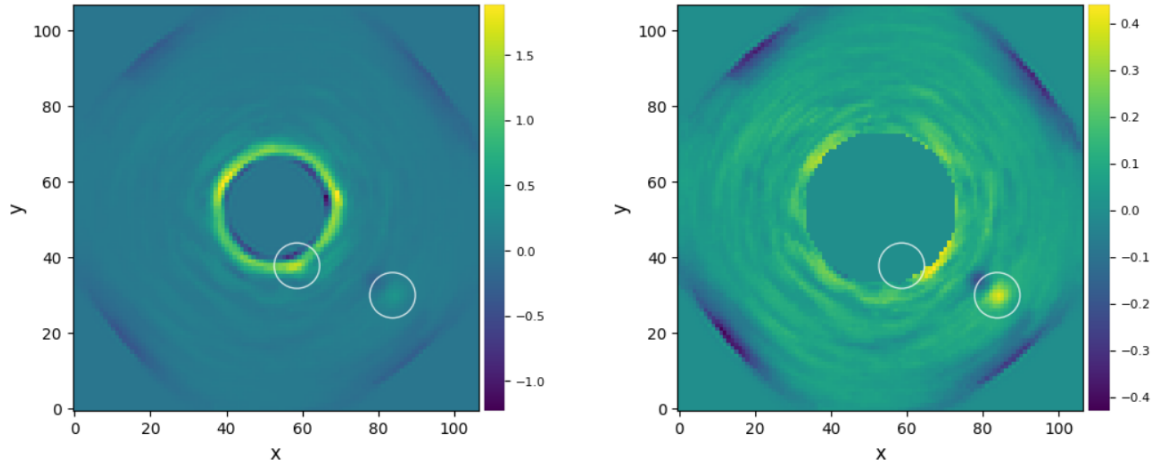


**Fonte: Autor, 2022.**

Em adicional, o artigo cita que a utilização de redução de dimensionalidade pode ser eficaz na otimização, porém isso não foi implementado no documento. Com as pesquisas realizadas durante o projeto, encontramos a redução de dimensionalidade PCA-SDI.

A pesquisa resultou na descoberta que esse tipo de redução é muito útil em conjuntos de dados que possuem características de disco alargadas de forma azimutlmal. Porém, a escala de fluxo irá tipicamente aumentar a contribuição de ruído antes do cálculo dos componentes principais, o que pode enviesar os seus valores.

**Figura 07: Comparação entre os métodos de utilização com e sem otimização de redução de dimensionalidade.**



Fonte: Autor, 2022.

Os testes sugerem de fato que se obtêm melhores resultados, ou seja, não identificação de planetas falsos injetados, quando nenhum fator de escala de fluxo é considerado antes do PCA. Podemos ver o resultado comparativo na figura 07.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAHLQVIST, C.-H.; CANTALLOUBE, Faustine; ABSIL, Olivier. Auto-RSM: An automated parameter-selection algorithm for the RSM map exoplanet detection algorithm. **Astronomy & Astrophysics**, v. 656, p. A54, 2021.

LARKIN, Kieran G.; OLDFIELD, Michael A.; KLEMM, Hanno. Fast Fourier method for the accurate rotation of sampled images. **Optics communications**, v. 139, n. 1-3, p. 99-106, 1997.

SMITH, Isabelle; FERRARI, André; CARBILLET, Marcel. Detection of a moving source in speckle noise. application to exoplanet detection. **IEEE Transactions on Signal Processing**, v. 57, n. 3, p. 904-915, 2008.

HINKLEY, Sasha et al. A new high contrast imaging program at Palomar observatory. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 123, n. 899, p. 74, 2011.

SPARKS, William B.; FORD, Holland C. Imaging spectroscopy for extrasolar planet detection. **The Astrophysical Journal**, v. 578, n. 1, p. 543, 2002.

FORD, Eric B.; GREGORY, Philip C. Bayesian model selection and extrasolar planet detection. **arXiv preprint astro-ph/0608328**, 2006.

WRIGHT, Jason T.; GAUDI, B. Scott. Exoplanet detection methods. **arXiv preprint arXiv:1210.2471**, 2012.

KURIHARA, Kazutaka et al. A face-like structure detection on planet and satellite surfaces using image processing. In: **International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology**. Springer, Cham, 2013. p. 564-567.

BORUCKI, William J. et al. Kepler planet-detection mission: introduction and first results. **Science**, v. 327, n. 5968, p. 977-980, 2010.

MOFARREH-BONAB, Mohammad; MOFARREH-BONAB, Mostafa. A new technique for image compression using PCA. **International Journal of Computer Science & Communication Networks**, v. 2, n. 1, p. 111-116, 2012.

SANGWINE, Stephen J.; ELL, T. Hypercomplex auto-and cross-correlation of color images. In: **Proceedings 1999 International Conference on Image Processing (Cat. 99CH36348)**. IEEE, 1999. p. 319-322.

HARCKE, L. J. et al. Delay-Doppler radar imaging of" overspread" planets. In: **IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120)**. IEEE, 2000. p. 284-286.