



# Análise estatística multivariada de galáxias do servidor miniJ-PAS

Julia Fischer<sup>1\*</sup>; Dinalva A. Sales<sup>1</sup>; Matheus D. Koren<sup>1</sup>  
Rodrigo Cardozo<sup>1</sup>

**Resumo:** Os estudos cosmológicos estão em constante evolução para compreender os fenômenos de aceleração e expansão do universo. Neste contexto, o presente trabalho utiliza dados do servidor miniJ-PAS, publicados em 2019, restringindo a análise a uma amostra de objetos astronômicos classificados como galáxias. A partir dos identificadores desses objetos, foram obtidas todas as propriedades fotométricas medidas pelos 60 filtros do Javalambre Survey Telescope. Sobre esses dados, foi aplicada uma análise estatística multivariada, utilizando os coeficientes de correlação de Pearson e Spearman. Os altos valores de correlação permitiram identificar comportamentos relevantes para a pesquisa, como a correlação inversa entre o redshift fotométrico e a área isofótica, indicando que galáxias com redshifts mais altos possuem áreas menores. Além disso, foi encontrada uma correlação positiva entre o fluxo Petrosiano na banda i e o raio efetivo das galáxias, bem como entre o fluxo Petrosiano e o redshift fotométrico, sugerindo que galáxias com maiores fluxos na banda i apresentam redshifts menores e raios efetivos maiores. Também foi identificada uma relação linear entre o raio efetivo e o fluxo Petrosiano na banda i e observou-se que o fluxo Petrosiano na banda i apresenta uma relação de lei de potência com o redshift fotométrico, assim como a classificação estelar se relaciona com a largura à meia altura do fluxo das galáxias. Esses resultados abrem caminho para o início de um estudo mais aprofundado, fundamentado nas propriedades dessas variáveis e na literatura existente.

**Palavras-chave:** Galáxias; miniJ-PAS; fotometria; análise estatística; cosmologia

---

\*juh.fischer@gmail.com

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande - FURG/ Rio Grande, RS, Brasil.

# 1 INTRODUÇÃO

O J-PAS (Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey) é um servidor de dados astrofísicos relacionados aos fenômenos de aceleração da expansão do universo. Esses dados são coletados pelo Javalambre Survey Telescope (JST), situado na Espanha, nas cordilheiras de Javalambre, a 2000 metros de altitude. Ele reuniu uma série de dados relacionados à dinâmica e evolução de inúmeros objetos cosmológicos, com uma resolução que permitiu, por exemplo, a caracterização de galáxias com linhas de emissão intensa (ELGs) e excepcionalmente intensas (EELGs), que são importantes para compreender as populações estelares e fenômenos físicos responsáveis por essas condições evolutivas excepcionais (Breda *et al.*, 2024; Iglesias-Páramo *et al.*, 2022 e Martínez-Solauche *et al.*, 2022). Além disso, possibilitou a identificação e caracterização de milhões de galáxias, incluindo galáxias azuis (BGs) e galáxias vermelhas luminosas (LRGs), bem como viabilizou, por meio de técnicas de ajuste de distribuições espectrais de energia (SED), o estudo da evolução de populações estelares de galáxias até um redshift  $z=1$  (Baqui *et al.*, 2021; Delgado *et al.*, 2021 e Díaz-García *et al.*, 2023).

Entre os meses de maio e setembro de 2018, o telescópio JST foi equipado com a câmera Pathfinder, o primeiro instrumento científico instalado no telescópio. Essa instalação teve como objetivo testar o desempenho do equipamento e realizar as primeiras operações científicas. A partir desses testes, foi possível coletar dados e desenvolver o miniJ-PAS, um servidor contendo uma fração dos dados astronômicos completos do J-PAS (Bonoli *et al.*, 2021).

Os dados do catálogo miniJ-PAS foram publicados em dezembro de 2019, como parte da proposta do J-PAS de reunir em um servidor uma quantidade expressiva de dados, superando outros levantamentos espectroscópicos, como o “VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey” e o “Large Early Galaxy Astrophysics Census”. Também apresenta um número significativo de filtros que demonstrou uma capacidade do sistema de caracterizar uma ampla variedade de fontes com uma boa relação sinal-ruído (Bonoli *et al.*, 2021).

Grandes conjuntos de dados desempenham um papel crucial no reconhecimento e descrição de fontes observadas, além de serem fundamentais para o avanço de estudos que visam compreender melhor os fenômenos físicos em determinados ambientes, a evolução das populações estelares e, conseqüentemente, restringir modelos cosmológicos (Maturi *et al.*, 2023).

Nesse contexto, este trabalho aplica uma análise estatística multivariada aos dados coletados pelo miniJ-PAS relacionados a galáxias, permitindo uma investigação mais robusta e detalhada das propriedades e correlações presentes nos dados.

## 2 METODOLOGIA

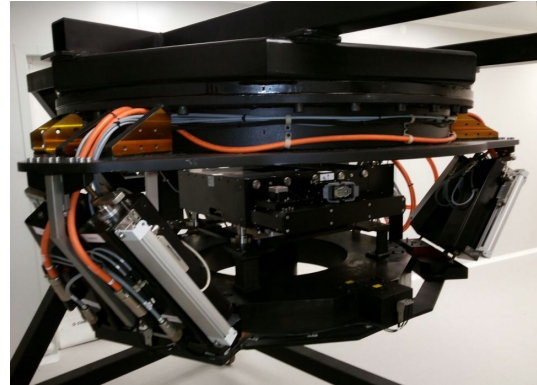
Para construção da presente pesquisa, foram estudados dados astronômicos de galáxias disponibilizadas através do catálogo miniJ-PAS no lançamento “MINIJ-PAS-

PDR201912”, acessados durante o primeiro semestre de 2023.

O catálogo é baseado em imagens coletadas pelo telescópio JST, de 2,55m de diâmetro e por sua câmera PathFinder, que funciona como um gerador de imagens CCD (Charged-Coupled Device), localizado no centro do plano focal do JST, com um campo de visão efetivo de  $\sim 0,3 \text{ deg}^2$  e um tamanho de pixel de 0,23 arcsec (Baqui *et al.*, 2021). A Figura 1 apresenta os instrumentos citados anteriormente.



(a) Telescópio JST.



(b) Câmera Pathfinder.

**Figura 1:** Instrumentação responsável pelas observações utilizadas no trabalho.

O JST cobre uma faixa espectral total de 3800 a 9100 Å, utilizando 54 filtros de banda larga e estreita e dois filtros amplos que se estendem do ultravioleta ao infravermelho próximo, além dos filtros complementares de banda larga (u, g, r, e iSDSS). Essa configuração permite obter redshifts fotométricos com alta precisão (Hernán-Caballero *et al.*, 2021).

Os dados utilizados compreendem a área dos quatro campos AEGIS (All-wave Extended Groth Strip International) do telescópio, designados como AEGIS 1 a AEGIS 4 (Bonoli *et al.*, 2021). Eles foram observados com 60 bandas ópticas, totalizando um campo de visão de  $\sim 1 \text{ deg}^2$ .

O miniJ-PAS inclui dados no formato FITS (Flexible Image Transport System), um padrão amplamente utilizado em astronomia, projetado especificamente para armazenar dados científicos, com suporte para descrições de informações fotométricas e de calibração espacial. Além disso, o servidor contém catálogos simples e duplos, que armazenam parâmetros derivados de imagens, como dados fotométricos e morfológicos.

Os catálogos simples correspondem a dados onde a detecção e a fotometria foram realizadas de forma independente para cada imagem. Por outro lado, os catálogos duplos utilizam imagens do SDSS (Sloan Digital Sky Survey) como referência para a detecção e a fotometria (Bonoli *et al.*, 2021).

Os dados do catálogo miniJ-PAS foram processados e extraídos utilizando softwares especializados para análise e tratamento de dados astronômicos, e serão detalhados ao longo das próximas seções.

## 2.1 Seleção de dados:

O catálogo primário do miniJ-PAS contém 64.293 objetos na faixa de detecção  $r$ , com fotometria forçada em todos os outros filtros. A extração dos dados foi realizada por meio da plataforma pública de dados catalogados do miniJ-PAS (Bonoli *et al.*, 2021), que permite acessar todas as informações dos objetos a partir de seus identificadores. Para otimizar o processamento e reduzir a quantidade de dados analisados, foi aplicada uma restrição na seleção desses identificadores, delimitando a amostra utilizada no estudo.

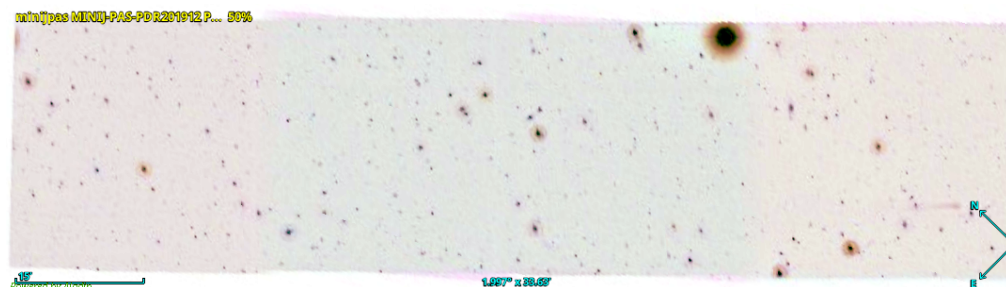
A variável `Class_star` foi utilizada para indicar a probabilidade da fonte de luz observada pelo instrumento ser uma galáxia ou uma estrela, onde valores próximos a 0 indicam menor probabilidade de ser uma estrela (fonte estendida) e valores próximos a 1 representam maior probabilidade (fonte pontual). Para restringir a análise a fontes estendidas, possivelmente classificadas como galáxias, foram selecionados objetos com `Class_star`  $< 0,1$ . A Tabela 1 sintetiza e fornece mais detalhes sobre a seleção desses dados.

**Tabela 1:** Variáveis críticas e fatores de seleção utilizados.

|                | Seleção  | Descrição                           |
|----------------|----------|-------------------------------------|
| Tile_id        | Todos    | Identificação do objeto no catálogo |
| Number         | Todos    | Número do objeto no catálogo        |
| Class_star     | $< 0,1$  | Maior probabilidade de ser Galáxia  |
| Lephare.PhotoZ | $> 0,01$ | Distância                           |

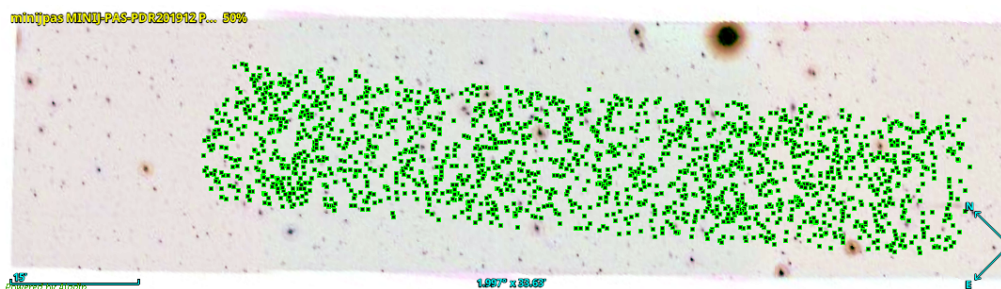
Além disso, foi aplicado um critério adicional para o redshift fotométrico `Lephare.PhotoZ`  $> 0,01$ , permitindo incluir a maioria das galáxias disponíveis no servidor. Após a aplicação desses filtros, foram identificadas 1870 galáxias, cujas informações de identificação `Tile_id` e `Number` foram utilizadas como referência para a extração dos dados correspondentes aos objetos do catálogo.

Para compreender melhor a distribuição espacial dos dados selecionados, foram utilizados os softwares TOPCAT (Taylor, 2005) e Aladin (Bonnarel *et al.*, 2000), que permitiram a demarcação da região correspondente à localização dos dados. A Figura 2 apresenta a área total coberta pelo catálogo miniJ-PAS.



**Figura 2:** Imagem obtida pelo Telescópio JST destacando a região de estudo do catálogo miniJ-PAS. No canto inferior esquerdo uma escala de 15 arcomin, no centro temos o tamanho total da região de 1,997° por 33,63 arcomin e à direita a orientação espacial com referências Norte e Leste.

Em um servidor contendo um grande volume de informações, a aplicação de filtros para objetos classificados como galáxias permitiu visualizar o alcance e a distribuição dos objetos selecionados em comparação com uma faixa de imagem do miniJ-PAS. A Figura 3 destaca os objetos selecionados em verde, distribuídos ao longo de quase toda a extensão da faixa analisada. O número de galáxias selecionadas, 1.870, é considerado adequado, dado os critérios de corte aplicados. Sem a aplicação desses filtros, o catálogo conteria mais de 60.000 objetos, evidenciando a redução significativa no volume de dados após os refinamentos, mantendo a amostra robusta o suficiente para garantir uma análise estatística sólida.



**Figura 3:** Na imagem, a região de estudo do miniJ-PAS Survey com os objetos selecionados destacados pelo contorno verde. No canto inferior esquerdo há uma escala de 15 arcomin, no centro observamos o tamanho total da região de 1,997° por 33,63 arcomin e na direita observamos a orientação espacial com referências Norte e Leste.

A partir da lista de nomes dos objetos já filtrados com as propriedades desejadas, coletamos todas as informações obtidas pelo instrumento, como sua posição espacial, espectro fotométrico, imagem, redshift e os fluxos e magnitudes para os 60 filtros. As propriedades que foram selecionadas para análise estão descritas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Tabelas das propriedades selecionadas para análise de dados.

| Propriedade                | Descrição                                                      |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Lephare_PhotoZ             | Redshift fotométrico                                           |
| A_World                    | Perfil RMS ao longo do eixo principal                          |
| B_World                    | Perfil RMS ao longo do eixo menor                              |
| Class_Star                 | Classificação de ‘estelaridade’ SExtractor                     |
| FWHM                       | Largura máxima à meia altura do fluxo                          |
| Isoarea_World              | Área isofótica acima do limite de análise                      |
| Kron_Radius                | Abertura Kron em un. de A ou B                                 |
| Petro_Radius               | Abertura Petrosiana em un. de A ou B                           |
| R_eff                      | Raio efetivo à meia luz                                        |
| Lephare_Odds               | Lephare P(z) em $\text{PHOTOZ} \pm 2 \times 0,01 \times (1+z)$ |
| Lephare_PhotoZ_Best68_High | Melhor solução de redshift fotométrico                         |
| Mag_Petro-rSDSS            | Magnitude Petrosiana pelo filtro rSDSS                         |
| Mag_Petro-iSDSS            | Magnitude Petrosiana pelo filtro iSDSS                         |
| Flux_Petro-Lambda-rSDSS    | Fluxo Petrosiano pelo filtro rSDSS                             |
| Flux_Petro-Lambda-iSDSS    | Fluxo Petrosiano pelo filtro iSDSS                             |

## 2.2 Análise de dados:

A análise dos dados foi feita utilizando os pacotes Seaborn (Waskom, 2021) e Pandas (team, 2020) em Python, para um melhor processamento dos dados e resultados. A partir dos dados astronômicos extraídos do miniJ-PAS e normalizados foi construída a matriz de correlação, utilizando o método de Pearson (Pearson, 1895), que mede a variância compartilhada entre duas variáveis seguindo um modelo linear, calculado pela equação (1), que resulta em um coeficiente  $\rho$ , que pode assumir valores entre -1 e 1, sendo 1 uma correlação direta total, em que ambas variáveis crescem juntas e -1 uma correlação inversa, em que o crescimento de uma variável acarreta no decréscimo da outra.

$$\rho = \frac{\sum_i^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(N - 1)\sigma_x\sigma_y} \quad (1)$$

onde  $\rho$  é o coeficiente de correlação de Pearson,  $N$  número de observações,  $\bar{x}$  média da variável  $x$ ,  $\sigma_x$  é o desvio padrão da variável  $x$ ,  $\bar{y}$  média da variável  $y$  e  $\sigma_y$  desvio padrão da variável  $y$ .

Logo após foi construída também uma matriz de correlação pelo método de Spearman (Spearman, 1961), calculado pela equação (2), que revelou correlações significativas entre algumas variáveis. O método de Spearman é uma medida não paramétrica da correlação de postos entre variáveis, de modo que o coeficiente aumenta à medida que a dependência entre as variáveis se intensifica, ou seja, a distância entre elas diminui. Diferentemente do método de Pearson, o método de Spearman é capaz de identificar correlações com comportamentos não lineares.

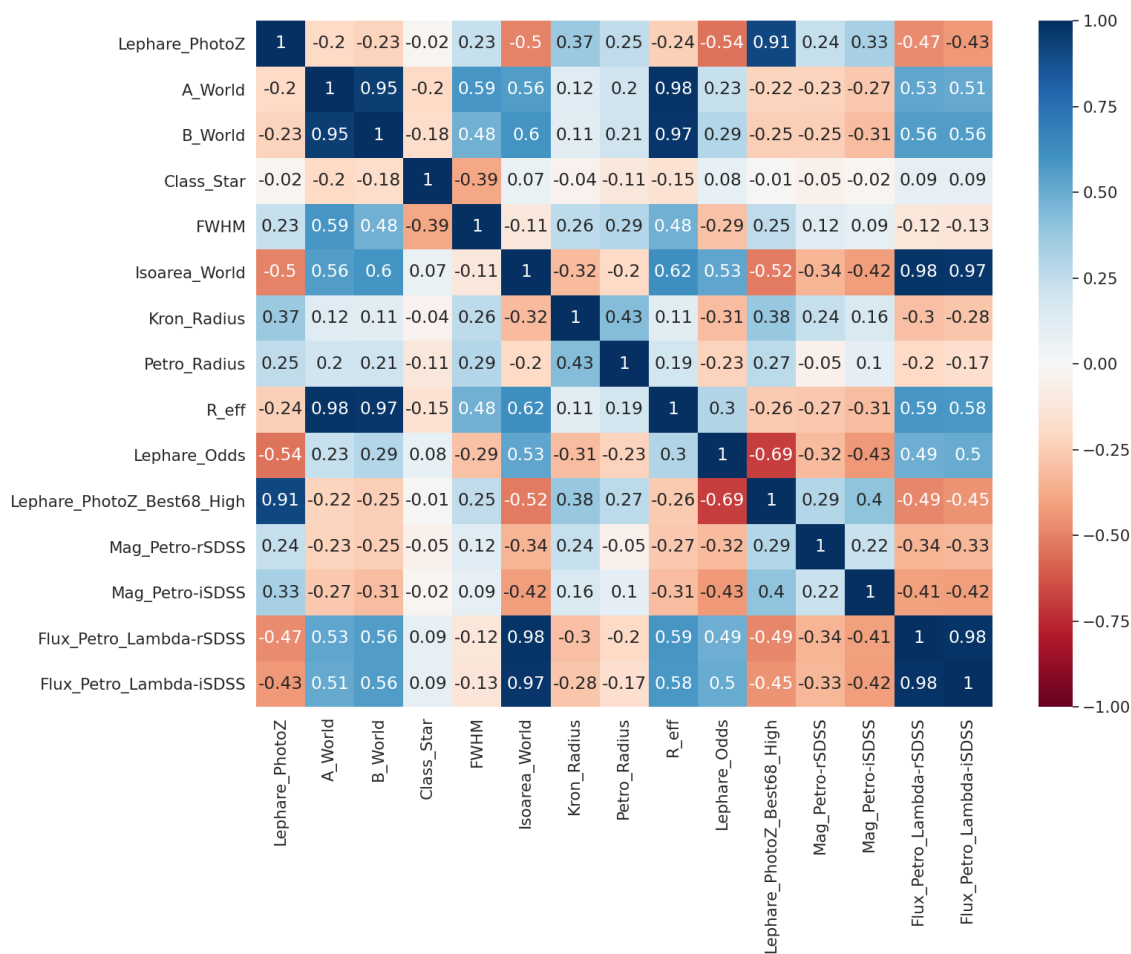
$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_i^N (d_i^2)}{N(N^2 - 1)} \quad (2)$$

onde  $r_s$  é o coeficiente de correlação de Spearman,  $N$  o número de observações e  $d$  distância entre medidas das variáveis relacionadas por postos.

Para investigar o comportamento de alguns coeficientes de correlação relevantes, foram construídos gráficos de dispersão e histogramas de frequência para algumas variáveis que apresentaram resultados significativos. As variáveis analisadas incluem Lephare\_PhotoZ, Class\_Star, R\_eff, FWHM e Flux\_Petro\_Lambda-iSDSS. A partir dos dados obtidos, foi possível realizar interpretações sobre os comportamentos observados.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A matriz de correlação, construída pelo método de Pearson e apresentada na Figura 4, permite a análise dos coeficientes calculados entre as propriedades selecionadas dos objetos da amostra, facilitando a identificação de correlações significativas e de comportamentos relevantes para investigação.



**Figura 4:** Matriz de correlação entre variáveis selecionadas, calculada pelo método de Pearson. A barra de cores à direita indica que valores de coeficientes positivos são representados na matriz pela cor azul e os negativos pelo vermelho. Tons mais claros refletem coeficientes próximos de zero, indicando baixa correlação.

A propriedade `Isoarea_World` é definida pela área aparente que uma fonte observada ocupa no céu, e quando os objetos no universo distante são observados, sua área aparente pode ser influenciada pela distância e pela expansão do universo. Já o redshift, ou desvio para o vermelho, pode ser definido como uma medida do deslocamento das linhas espectrais de um objeto astronômico para comprimentos de onda mais longos. Por isso é possível observar a correlação inversa esperada entre o redshift fotométrico, descrito pela variável `Lephare_PhotoZ` e a `Isoarea_World`, de -0,5, aproximadamente 50 %. Essa correlação é esperada porque à medida que o redshift aumenta (indicando maior distância e velocidade de afastamento), a isoárea medida dos objetos tende a diminuir, porque os objetos mais distantes parecem menores no céu. Essa correlação é uma ferramenta crucial na cosmologia observacional, no estudo sobre a estrutura e a evolução do universo ao longo do tempo.

O fluxo Petrosiano é amplamente utilizado na astronomia para medir uma fração constante da luz total de um objeto, independentemente de sua posição ou distância. No SDSS, o fluxo Petrosiano é definido para qualquer banda como o fluxo dentro de um

número específico de raios Petrosianos. Esses raios são determinados a partir do perfil de luz calculado azimutalmente, representando a distância do centro da galáxia onde a fração entre a intensidade média da luz e a intensidade medida permanece constante (Blanton *et al.*, 2001). Dessa forma, o raio Petrosiano pode ser relacionado com o núcleo da galáxia, e por isso galáxias com raios Petrosianos maiores podem ser consideradas mais massivas.

O fluxo na banda  $i$  pode ser associado principalmente à taxa de formação estelar (SFR) (Mortlock *et al.*, 2013), uma vez que está relacionado à linha de  $H\alpha$  (656 nm), emitida por estrelas jovens. O valor de -0,43 entre Flux\_Petro\_Lambda- $i$ SDSS e Lephare.PhotoZ indica uma correlação significativa, sugerindo que o aumento do fluxo Petrosiano na banda  $i$  está relacionado à diminuição do redshift. Isso implica que galáxias com maior taxa de formação estelar são observadas em redshifts menores, ou seja, em um universo mais próximo, enquanto em universos mais distantes essa taxa diminui.

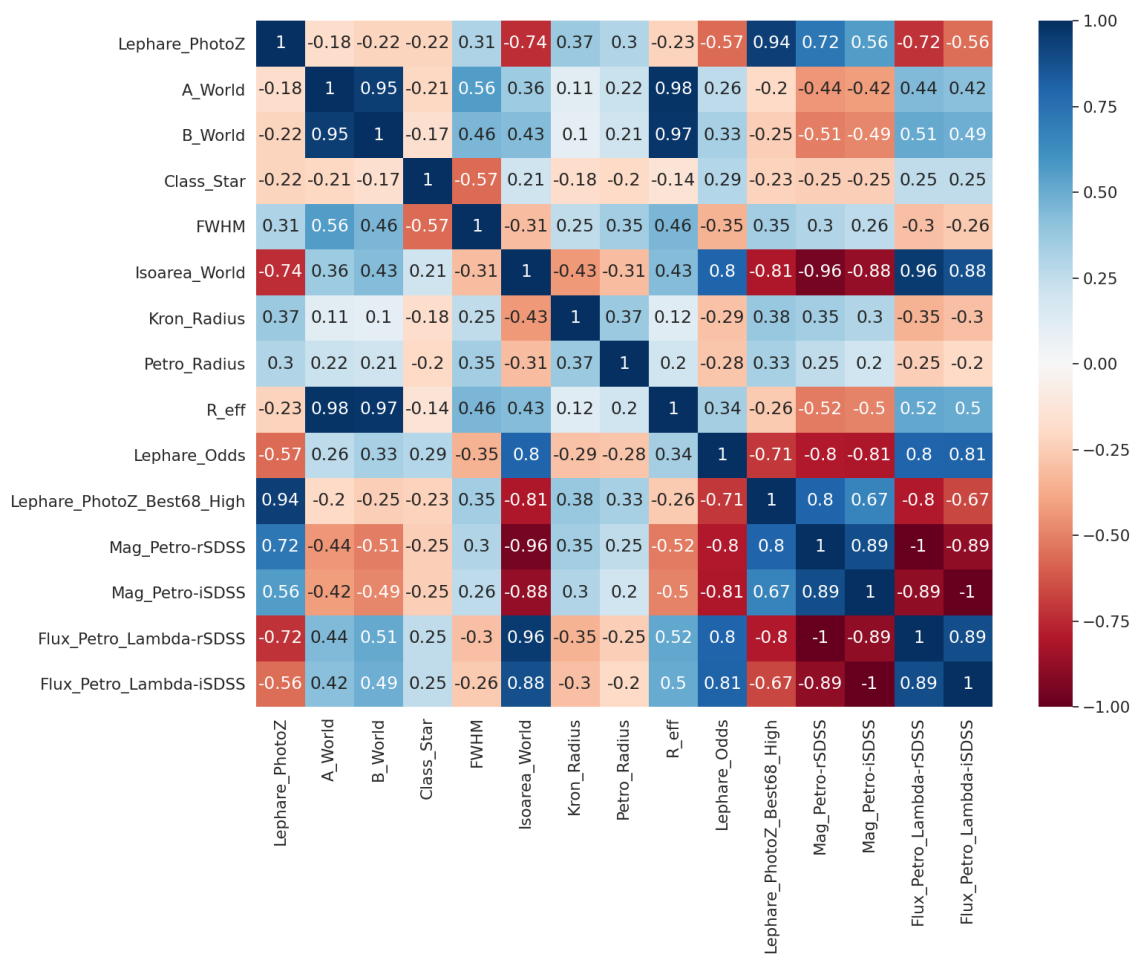
Outras correlações notáveis incluem o coeficiente de 0,58 entre Flux\_Petro\_Lambda- $i$ SDSS e  $R_{eff}$ , sugerindo que galáxias com raios maiores apresentam maior taxa de formação estelar, e o coeficiente de -0,24 entre Lephare.PhotoZ e  $R_{eff}$ , embora de significância reduzida, indicando que em redshifts menores (universo mais próximo) observam-se galáxias com raios maiores.

Foi observado um coeficiente de 0,25 entre Lephare.PhotoZ e Petro.Radius, o que sugere, apesar de não muito expressivo, a presença de galáxias com raios Petrosianos maiores, ou mais massivas, em redshifts mais altos, o que está em consonância com as classificações existentes até o momento (Blanton *et al.*, 2001). Além disso, o coeficiente de -0,17 entre Petro.Radius e Flux\_Petro\_Lambda- $i$ SDSS indica que os objetos mais massivos da amostra podem apresentar uma taxa de formação estelar mais baixa.

Também foi construída a matriz de correlação utilizando o método de Spearman, conforme apresentado na Figura 5, com o objetivo de investigar comportamentos não lineares nas correlações.

Observou-se, por exemplo, um aumento significativo entre as magnitudes e os fluxos, o que está em conformidade com a definição de magnitude, uma vez que esta é expressa pela relação logarítmica negativa do fluxo. O aumento é esperado, uma vez que o método de Spearman é particularmente eficaz em calcular correlações entre dados que seguem comportamentos logarítmicos, em que os postos são próximos, mas não seguem os pressupostos de linearidade exigidos pela correlação de Pearson.

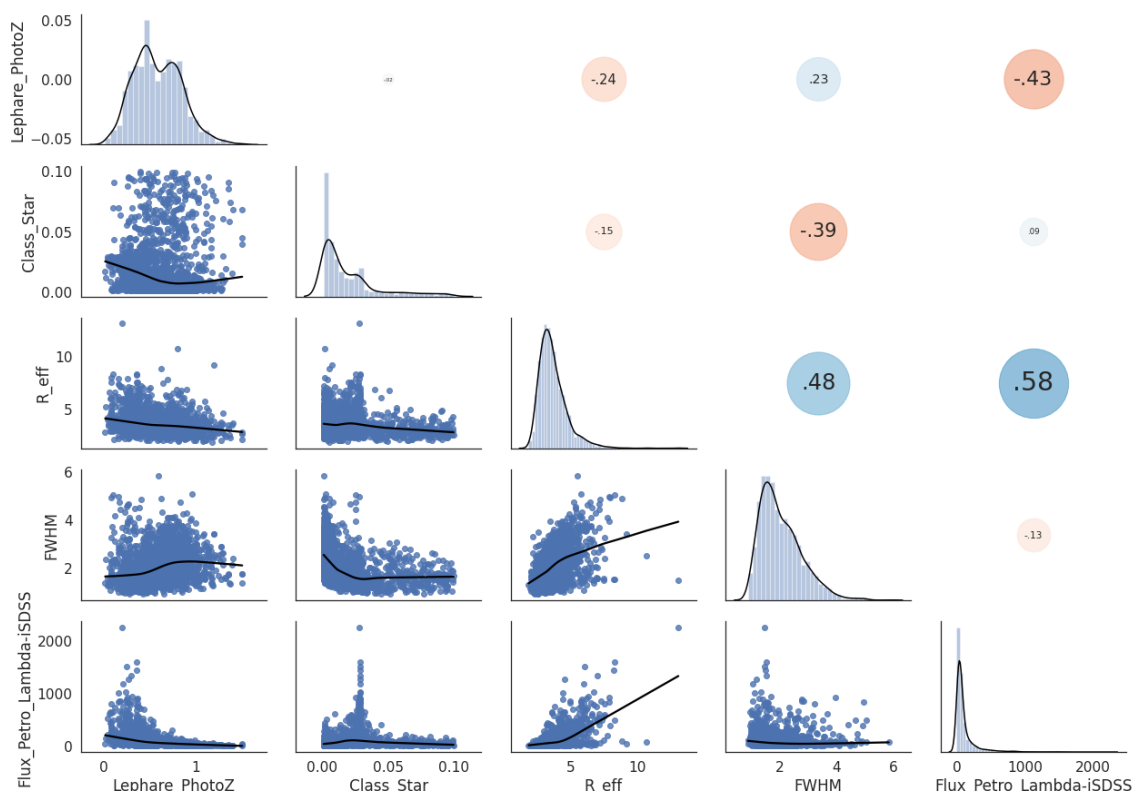
O catálogo miniJ-PAS descreve a variável Class\_Star como uma classificação estelar, a qual é baseada nos fluxos dos objetos. A classificação estabelece que objetos com valores de Class\_Star superiores a 0,5 são considerados estrelas, enquanto objetos com valores inferiores a esse limiar são classificados como galáxias. Como esperado, estrelas são objetos pontuais com fluxos concentrados, enquanto galáxias são objetos de brilho estendido. Um outro coeficiente de correlação relevante foi encontrado entre as variáveis Class\_Star e FWHM, esta última representando a medida da largura à meia altura do fluxo, que é um parâmetro essencial no processo de classificação das galáxias. O coeficiente de



**Figura 5:** Matriz de correlação entre variáveis selecionadas, calculada pelo método de Spearman. A barra de cores à direita indica que valores de coeficientes positivos são representados na matriz pela cor azul e os negativos pelo vermelho. Tons mais claros refletem coeficientes próximos de zero, indicando baixa correlação.

-0,57 sugere que a medida do FWHM está inversamente correlacionada com a classificação estelar, ou seja, galáxias, com fluxos mais difusos, tendem a apresentar valores de FWHM maiores. Outras correlações relevantes, como aquelas entre os fluxos e o redshift, também podem ser investigadas para uma análise mais aprofundada.

Após a análise dos coeficientes das matrizes, a construção do gráfico de dispersão mostrado na Figura 6 permitiu a identificação dos comportamentos das variáveis com correlação significativa. Essa abordagem possibilitou a avaliação de eventuais erros estatísticos, como a presença de valores atípicos, que poderiam comprometer a análise dos dados.



**Figura 6:** Na parte inferior esquerda temos o gráfico de dispersão das variáveis com linhas de ajuste. Em sua diagonal principal temos o histograma com a distribuição de frequência dos valores para cada variável na amostra e à direita temos os valores de correlação de Pearson obtidos entre variáveis.

A análise das variáveis `Lephare.PhotoZ` e `Class_Star` revelou uma distribuição de padrão bimodal, caracterizada pela presença de dois picos distintos na frequência de valores observados. Esse comportamento sugere a existência de duas populações subjacentes nos dados.

No caso da variável `Class_Star`, a bimodalidade observada pode estar associada às duas classificações principais atribuídas às fontes de luz: objetos estelares, caracterizados por emissões pontuais, e galáxias, que apresentam distribuições de fluxo mais estendidas. Pois essa distribuição pode refletir a presença de objetos intermediários, como quasares e galáxias com linhas de emissão excepcionalmente intensas (EELGs). Tais objetos possuem características de emissão intensas e distribuições de fluxo que, embora menos pontuais que as estrelas, são mais compactas do que as galáxias típicas. Estes objetos também apresentam valores elevados de fluxo Petrosiano na região óptica, particularmente na banda *i* do SDSS, como evidenciado no gráfico de dispersão entre as variáveis `Class_Star` e `Flux_Petro_Lambda-iSDSS` (Iglesias-Páramo *et al.*, 2022).

Para a variável `Lephare.PhotoZ`, a distribuição bimodal pode indicar a presença de duas populações distintas de galáxias, possivelmente com características evolutivas ou de formação diferentes. Ambas as hipóteses sugerem a necessidade de investigações adicionais para um entendimento mais profundo dos processos físicos envolvidos.

As demais variáveis apresentam uma distribuição próxima a normal, com uma única

curva em forma de sino, o que implica que os dados dessas variáveis tendem a se concentrar em torno de um valor médio, com dispersão simétrica.

A análise das dispersões revelou comportamentos que sugerem relações significativas entre diversas variáveis. Identificou-se uma tendência que se aproxima de uma relação linear entre o raio efetivo ( $R_{\text{eff}}$ ) dos objetos e o fluxo Petrosiano na banda  $i$  ( $\text{Flux\_Petro\_Lambda-}i\text{SDSS}$ ), assim como entre o raio ( $R_{\text{eff}}$ ) e a largura à meia altura do fluxo (FWHM).

Adicionalmente, as correlações observadas entre  $\text{Flux\_Petro\_Lambda-}i\text{SDSS}$  e  $\text{Lephare\_PhotoZ}$ , bem como entre  $\text{Class\_Star}$  e FWHM, sugerem um comportamento que se aproxima de uma lei de potência. Esse padrão é reforçado pelo aumento significativo nos coeficientes de correlação calculados através do método de Spearman, que se mostra particularmente eficaz na detecção de dependências não lineares entre as variáveis analisadas. Em contrapartida, observou-se que as variáveis que apresentam comportamentos lineares, como  $R_{\text{eff}}$  e FWHM, apresentaram variações mínimas nos coeficientes de correlação calculados, sugerindo que o método de Spearman, de fato, ofereceu uma representação mais robusta das relações entre as variáveis analisadas.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma análise estatística multivariada das galáxias do catálogo miniJ-PAS, com o objetivo de investigar as relações entre suas diversas propriedades astronômicas. Utilizando uma amostra selecionada de objetos celestes, conforme os critérios detalhados anteriormente, foram construídas matrizes de correlação, permitindo a exploração das interações entre as variáveis de interesse.

Este estudo contribui de maneira significativa para a compreensão das propriedades das galáxias do miniJ-PAS, uma vez que a análise simultânea de todas as variáveis por meio dos métodos aplicados proporciona uma abordagem eficiente, economizando meses de trabalho e pesquisas sobre temas relacionados.

Os resultados obtidos revelaram correlações significativas entre as variáveis analisadas. Em resumo, foram identificadas as seguintes tendências:

- Distribuições bimodais para o redshift fotométrico e a classificação estelar, enquanto as demais variáveis apresentaram comportamento próximo a uma distribuição normal;
- Correlações inversas entre o redshift fotométrico e a área isofótica, indicando que galáxias com redshifts mais elevados tendem a apresentar áreas menores;
- Correlações positivas entre o fluxo Petrosiano na banda  $i$  e o raio efetivo, bem como entre o fluxo Petrosiano e o redshift fotométrico, sugerindo que galáxias com maiores fluxos na banda  $i$  apresentam redshifts menores e raios efetivos maiores;
- Relações lineares entre o raio efetivo e o fluxo Petrosiano na banda  $i$ , além de relações

que seguem uma lei de potência entre o fluxo Petrosiano e o redshift fotométrico, e entre a classificação estelar e a largura à meia altura do fluxo.

Através da análise estatística multivariada, foi possível identificar correlações entre diversas variáveis associadas a esses objetos, proporcionando uma melhor compreensão da evolução das galáxias e da dinâmica do universo. Essas descobertas têm o potencial de impactar estudos futuros em astrofísica e cosmologia, ampliando nosso entendimento sobre a complexidade e a estrutura do cosmos.

Entretanto, é relevante destacar que este estudo apresenta algumas limitações, pois a análise baseia-se em dados observacionais sujeitos a incertezas inerentes a esse tipo de estudo. Além disso, a amostra selecionada representa apenas uma fração das galáxias no universo. Portanto, estudos complementares são necessários para confirmar os resultados encontrados e ampliar a robustez das conclusões.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). JFischer também agradece ao financiamento pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001 e DASales à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), Brasil.

## REFERÊNCIAS

- Baqui, P., V Marra, L Casarini, R Angulo, L. Diaz-Garcia, C Hernández-Monteagudo, P. Lopes, C López-Sanjuan, D Muniesa, V. Placco, *et al.* (2021). “The miniJPAS survey: star-galaxy classification using machine learning”. Em: *Astronomy & Astrophysics* 645, A87.
- Blanton, M. R., J. Dalcanton, D. Eisenstein, J. Loveday, M. A. Strauss, M. SubbaRao, D. H. Weinberg, J. E. Anderson Jr, J. Annis, N. A. Bahcall, *et al.* (2001). “The Luminosity function of galaxies in SDSS commissioning data”. Em: *The Astronomical Journal* 121.5, p. 2358.
- Bonnarel, F., P. Fernique, O. Bienaymé, D. Egret, F. Genova, M. Louys, F. Ochsenbein, M. Wenger, e J. G. Bartlett (2000). “The aladin interactive sky atlas-a reference tool for identification of astronomical sources”. Em: *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* 143.1, pp. 33–40.
- Bonoli, S, A. Marín-Franch, J. Varela, H. V. Ramió, L. Abramo, A. Cenarro, R. Dupke, J. Vílchez, D Cristóbal-Hornillos, R. G. Delgado, *et al.* (2021). “The miniJPAS survey: A preview of the Universe in 56 colors”. Em: *Astronomy & Astrophysics* 653, A31.

- Breda, I., S. Amarantidis, J. M. Vilchez, E. Pérez-Montero, C. Kehrig, J. Iglesias-Páramo, A. Arroyo-Polonio, J. A. Fernández-Ontiveros, R. M. G. Delgado, L. A. Díaz-García, *et al.* (2024). “The miniJPAS survey. Multiwavelength exploration of detected Extreme Emission Line Galaxies”. Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 528.2, pp. 3340–3353.
- Delgado, R. G., L. Díaz-García, A de Amorim, G Bruzual, R. C. Fernandes, E Pérez, S Bonoli, A. Cenarro, P. Coelho, A Cortesi, *et al.* (2021). “The miniJPAS survey-Identification and characterization of galaxy populations with the J-PAS photometric system”. Em: *Astronomy & Astrophysics* 649, A79.
- Díaz-García, L., R. González Delgado, G Martínez-Solaache, J. Rodríguez-Martín, R García-Benito, e E Pérez (2023). “Stellar population studies in the incoming J-PAS survey”. Em: *Highlights of Spanish Astrophysics XI*, p. 81.
- Hernán-Caballero, A., J. Varela, C López-Sanjuan, D Muniesa, T Civera, J Chaves-Montero, L. Díaz-García, J Laur, C Hernández-Monteagudo, R Abramo, *et al.* (2021). “The miniJPAS survey: Photometric redshift catalogue”. Em: *Astronomy & Astrophysics* 654, A101.
- Iglesias-Páramo, J., A Arroyo, C Kehrig, J. Vílchez, S. D. Puertas, E. Pérez-Montero, I Breda, Y Jiménez-Teja, C. L. Sanjuan, A Lumbreras-Calle, *et al.* (2022). “The miniJPAS survey: A search for extreme emission-line galaxies”. Em: *Astronomy & Astrophysics* 665, A95.
- Martínez-Solaache, G, R. G. Delgado, R. García-Benito, L. Díaz-García, J. Rodríguez-Martín, E Pérez, A de Amorim, S. D. Puertas, L Sodré, D. Sobral, *et al.* (2022). “The miniJPAS survey: Identification and characterization of the emission line galaxies down to  $z_i$  0.35 in the AEGIS field”. Em: *Astronomy & Astrophysics* 661, A99.
- Maturi, M, A Finoguenov, P. Lopes, R. G. Delgado, R. A. Dupke, E. Cypriano, E. Carrasco, J. M. Diego, M Penna-Lima, L Doubrawa, *et al.* (2023). “The miniJPAS survey-Cluster and galaxy group detections with AMICO”. Em: *Astronomy & Astrophysics* 678, A145.
- Mortlock, A., C. J. Conselice, W. G. Hartley, J. R. Owsnsworth, C. Lani, A. F. Bluck, O. Almaini, K. Duncan, A. v. d. Wel, A. M. Koekemoer, *et al.* (2013). “The redshift and mass dependence on the formation of the Hubble sequence at  $z > 1$  from CANDELS/UDS”. Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 433.2, pp. 1185–1201.
- Pearson, K. (1895). “VII. Note on regression and inheritance in the case of two parents”. Em: *proceedings of the royal society of London* 58.347-352, pp. 240–242.
- Spearman, C. (1961). “The proof and measurement of association between two things.” Em: Taylor, M. B. (2005). “TOPCAT & STIL: Starlink table/VOTable processing software”. Em: *Astronomical data analysis software and systems XIV*. Vol. 347, p. 29.
- pandas development team, T. (2020). *pandas-dev/pandas: Pandas*. Versão latest. DOI: 10.5281/zenodo.3509134. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134>.
- Waskom, M. L. (2021). “seaborn: statistical data visualization”. Em: *Journal of Open Source Software* 6.60, p. 3021. DOI: 10.21105/joss.03021. URL: <https://doi.org/10.21105/joss.03021>.