

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Marcelo Ciani Vicentin

**Busca de aglomerados de galáxias em altos
redshifts na vizinhança de tripletos de
quasares: o caso de UM416**

São Paulo

2017

Marcelo Ciani Vicentin

Busca de aglomerados de galáxias em altos redshifts na vizinhança de tripletos de quasares: o caso de UM416

Trabalho de graduação apresentado ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do diploma de graduação em Astronomia.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador: Prof. Dr. Laerte Sodré Jr.

São Paulo

2017

Resumo

Com o objetivo de buscar aglomerados de galáxias em formação usando sistema de quasares como traçadores, iniciou-se procedimentos de obtenção, tratamento e análise de dados provenientes de três imagens de grande campo obtidas no telescópio *CFHT* (bandas r' , i' , z'). Essas imagens contêm como objetos de referência, um tripleto de quasares que inclui o *radio-loud UM416* (*redshift* $\approx 1,5$). Utilizando o *software SExtractor* (*Bertin and Arnouts, 1996*), foram criados catálogos com os objetos presentes nas imagens com diversas medidas de parâmetros importantes para selecionar os objetos que são de interesse deste projeto, tais como: magnitudes, *fwhm* (*full width at half maximum*), estelaridade, coordenadas e erros. A partir dos catálogos, foi possível iniciar o tratamento e análise dos dados para selecionar galáxias que estão localizadas espacialmente na região próxima ao tripleto, o que permite estudar se é uma região de formação de aglomerado.

Abstract

In order to search for galaxy clusters in formation using triplet of quasars as tracers, we started procedures to obtain, treat and analyze data from three deep field images captured at CFHT telescope (photometric bands r' , i' and z'). The reference objects in these images are a triplet of quasars which includes the radio-loud UM416 (redshift ≈ 1.5). We used the software *SExtractor* to identify and catalogue the objects from the images as well measurements of parameters that are interest of this work. With the catalogues, we were able to initiate the treatment and analyses of the data in order to select galaxies which are located next to the triplet, which allows study if the region is forming cluster or not.

Lista de Figuras

2.1	SDSS/CasJobs	17
2.2	Calibração Fotométrica	18
3.1	Histogramas de magnitudes	22
3.2	Gráficos: Magnitude vs. Erro	23
3.3	Gráficos: Separação Estrela-Galáxia	24
3.4	Gráficos: Diagramas cor-cor e cor-magnitude dos objetos selecionados nos catálogos do <i>SExtractor</i>	26
3.5	Gráficos: Diagramas cor-cor e cor-magnitude dos objetos selecionados nos catálogos do COSMOS2015	27
3.6	Gráfico: Localização espacial do tripleto e das galáxias selecionadas	28
3.7	Mapa de densidade das galáxias selecionadas e do tripleto.	29
3.8	Histograma da densidade de galáxias por Mpc^2	29
4.1	Localização espacial e Diagrama cor-cor das galáxias na área de 1 Mpc^2 on de o centro é o quasar 2SLAQ J021621.98-010818.5	31

Lista de Tabelas

2.1	Condições para a calibração fotométrica.	18
2.2	Resultados da calibração fotométrica.	18
2.3	Banda de Referência.	19
4.1	Média das cores das 3186 galáxias na região do tripleto e das 10 que estão na área de 1 Mpc ² do quasar 2SLAQ J021621.98-010818.5.	32

Sumário

1. Introdução	13
1.1 Imagens FITS	15
1.2 <i>SExtractor</i> (Bertin and Arnouts, 1996)	15
1.3 Estelaridade	15
1.4 <i>Point Spread Function</i> para o <i>SExtractor</i> (PSFEx) (Bertin 2011)	16
2. Calibração Fotométrica e Correções	17
2.1 Calibração Fotométrica	17
2.2 Correção de Extinção	19
2.3 Banda de referência	19
3. Análise	21
3.1 Intervalo de Magnitude de Confiança	21
3.2 Separação Estrela-Galáxia	23
3.3 Seleção dos Objetos do Catálogo COSMOS2015	24
3.4 Diagramas e comparação entre os selecionados	25
3.5 O triplete e seus candidatos a vizinhos	27
4. Conclusão	31
Referências	33

Introdução

Grupos e aglomerados de galáxias são as maiores estruturas conhecidas no universo. O primeiro formado por algumas dezenas desses corpos e o segundo contendo centenas à milhares de galáxias ligadas gravitacionalmente (Voit, 2005). De acordo com os modelos de formação de estruturas no universo Λ CDM, as estruturas menores começam a se aglutinar primeiro e, eventualmente, mais objetos começam a colapsar, dando origem aos aglomerados. O modelo cosmológico Λ CDM é considerado o modelo teórico padrão para explicar a formação de estruturas no universo (Dunkley et. al 2009) e, para condições iniciais previstas pela teoria da inflação cósmica e parâmetros estabelecidos por observações, o modelo é capaz de prever detalhadamente o crescimento gravitacional hierárquico das estruturas (Klypin et. al 2011).

Estudar grupos de galáxia que compõem estruturas em larga escala em altos *redshifts*, podem fornecer informações importantes a respeito da formação e evolução dos corpos ali presentes (Mei et al. 2006). Contudo, antes disso, é necessário investigar onde esses aglomerados estão localizados.

Em *redshifts* > 1 , muitas observações apontam para o fato dos quasares estarem organizados em grupos ou aglomerados (Wold et al. 2000, 2001), o que pode sugerir regiões que apresentam maior aglutinação de corpos massivos. Sánchez & González-Serrano (2002), estudando quasares *radio-loud* em regiões $1.0 < z < 1.6$, detectou quantidades maiores que o comum de galáxias nas proximidades destes corpos. Em $z \approx 1.1$, Tanaka et al. (2001) também observou o mesmo tipo de fenômeno.

Para este fim, este trabalho se iniciou a partir de três imagens de grande campo. Estas, possuem uma vasta quantidade de objetos, dos quais pode se extrair uma série de medidas para o estudá-los. Tendo isto em vista, o tratamento e análise destes dados devem

ser estabelecidos de forma a codificar, categorizar e organizar em uma base adequada aos objetivos do estudo. A análise de dados quantitativos, busca confrontar diferentes variáveis com o intuito de verificar as possíveis relações entre elas e, a partir disso, fornecer parâmetros que auxiliem a tomada de decisão.

Neste projeto, trabalhamos com três imagens do tipo *FITS* (*Flexible Image Transport System*) nas bandas r' , i' , z' , obtidas pelo telescópio CFHT (*Canada France Hawaii Telescope*). As imagens foram submetidas ao *software sextractor*, que identifica e organiza os objetos nela contidos em catálogos com as medidas de alguns parâmetros que são de interesse deste estudo.

A partir dos catálogos iniciais, foram realizados alguns procedimentos fundamentais para correção de alguns destes parâmetros:

- Calibração fotométrica das magnitudes utilizando a base de dados do *Sloan Digital Sky Server* (*SDSS*);
- Correção da extinção causada pela poeira da Via Láctea presente no meio interestelar;
- Estabelecer entre as três bandas, qual é a de referência e reexecutar o *sextractor* em *dual mode* com a referência para as outras imagens;
- Através de histogramas e gráficos, verificar algumas variáveis para teste de coerência dos dados.

A partir destes passos, foi possível desenvolver análises gráficas que permitiram selecionar os objetos de interesse: galáxias que estão distribuídas na região do triplete. O que torna possível fazer inferências se há formação de aglomerados naquela região. Para saber a posição exata do triplete, apenas as coordenadas não são suficientes, também é necessário saber o *redshift*, pois é a medida que fornece a informação do quão distante os objetos estão. O procedimento para estimar esta grandeza, foi feito através da comparação de diagramas cor-cor e cor-magnitude dos objetos dos catálogos deste estudo com os objetos do catálogo COSMOS2015 (Laigle et. al. 2016), que apresenta medidas de *redshift* dos objetos ali catalogados.

Os sub-itens 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4, exploram, em maior detalhes, alguns termos, recursos e técnicas iniciais utilizadas que serão citadas no decorrer deste trabalho. Os métodos para tratamento e análise serão discutidos nos capítulos posteriores.

1.1 Imagens FITS

O formato *FITS*, abreviatura para *Flexible Image Transport System*, é muito utilizado no campo científico para armazenar, transmitir e manipular imagens. Um dos grandes benefícios de utilizar este tipo de arquivo, consiste no fato de ele armazenar metadados num cabeçalho *ASCII* legível, o que permite aos interessados em utilizar tal imagem, ter acesso à informações importantes sobre sua origem, como: autor, data, local, coordenadas, equipamentos utilizados para aquisição, calibrações, faixas espectrais, entre outros.

Especificamente neste trabalho, foi possível ter acesso à *magnitude de ponto zero* (obtido através da calibração fotométrica) e escala de placa do telescópio utilizado para imagear.

1.2 *SExtractor* (Bertin and Arnouts, 1996)

Software capaz de criar catálogos de objetos a partir de imagens astronômicas. Particularmente desenvolvido para trabalhar com redução de dados de *surveys* de galáxias em larga escala.

Este programa permite a obtenção de uma série de medidas de todos os objetos que são identificados nas imagens. É importante que o usuário saiba quais parâmetros são de seu interesse e algumas informações como a escala de placa do telescópio que fez a imagem que será submetida à análise.

O *SExtractor* identifica um número diferente de objetos entre as imagens de bandas fotométricas diferentes (pois os objetos possuem cores diferentes). Para lidar com este problema, temos o recurso de submeter as imagens em *Dual Mode*, que será abordado no Capítulo 2.

1.3 Estelaridade

Um parâmetro que o *sextractor* pode oferecer é a estelaridade, que é uma medida que indica o quão extenso é o objeto. Ou seja, ele permite decidir com mais clareza sobre a característica morfológica do objeto, de uma maneira mais simples, se se trata de uma galáxia ou de uma estrela. Neste trabalho, estamos interessados no primeiro tipo, portanto, a estelaridade é um parâmetro fundamental para selecionarmos quais objetos iremos selecionar para seguir nas análises que se seguirem.

1.4 *Point Spread Function* para o *SExtractor* (*PSFEx*) (*Bertin 2011*)

O PSFEx é outro recurso para auxiliar na distinção entre estrela-galáxia. Ele atua nos objetos catalogados pelo *SExtractor* ajustando uma PSF para cada um separadamente, tendo como resultado final o parâmetro *spread_Model*, que é uma medida capaz de transmitir informações sobre a estrutura morfológica de cada objeto. Por isso, é um recurso muito poderoso para a distinção dos tipos de corpos.

Calibração Fotométrica e Correções

2.1 Calibração Fotométrica

A partir das imagens *UM416.fits* nas três bandas (r' , i' , z'), foi possível analisar as informações contidas no *header* pelo *software DS9*. Foi constatado que não havia a informação da magnitude de ponto zero na imagem referente à banda i' , e que, então, seria necessário fazer a calibração fotométrica para obter este valor. Para isso, utilizou-se o *CasJobs*, uma plataforma online do *SDSS* que disponibiliza catálogos dos seus objetos. Esta ferramenta permite consultar quais objetos estão em determinadas coordenadas (Figura 2.2), dessa forma, foi obtida uma base de dados de confiança para compararmos com os dados extraídos pelo *sextractor*.



Figura 2.1: Exemplo de *query* utilizada para fazer a consulta no *Casjobs*

De modo a obter um intervalo de magnitudes que representa objetos que não estão saturados ou muito fracos, foram impostas algumas condições (Tabela 2.1) e, a partir delas, foi feita uma comparação entre as distâncias entre os objetos dos dois catálogos, de

modo a selecionar apenas aqueles que estavam a menos de $0.1''$ do outro (*Cross-Match*) (Figura 2.2).

Tabela 2.1 - Condições para a calibração fotométrica.

Parâmetro	SExtractor	SDSS
Magnitude:	$-9 < i < -5$	$18 < i < 21$
Fwhm:	$< 0.000190278''$	—
Estelardade:	> 0.9	—
Raio efetivo:	< 2.4	—

Calculou-se a média para as duas amostras e, assim, a subtração do valor encontrado para o SDSS pelo valor da nossa amostra, corresponde à magnitude de ponto zero (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Resultados da calibração fotométrica.

	Média	Desvio Padrão
MAG SDSS:	19.56	0.74
MAG AUTO:	-6.07	0.75
MAGNITUDE DE PONTO ZERO:	25.63	0.05

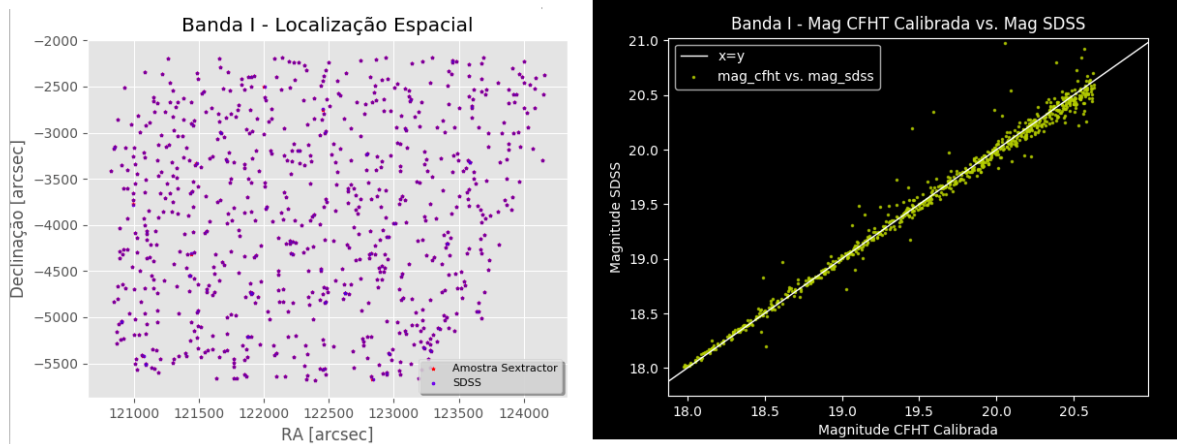


Figura 2.2: Esquerda: *Cross-match* entre os dois catálogos. Direita: Magnitude dos objetos corrigidos pela magnitude dos objetos do SDSS.

2.2 Correção de Extinção

Também é necessário determinar a extinção causada pela poeira da Via Láctea presente no meio interestelar para cada objeto do catálogo. Este fenômeno causa um pequeno aumento na magnitude de cada objeto, dependendo da sua localização. A correção foi feita através de uma rotina em *python* feita pelo Prof. Laerte Sodré Jr. que lê o valor de $E(B-V)$ nas coordenadas de cada objeto (individualmente) nos mapas de *Schlegel, Finkbeiner and Davis (1998)* e calcula a extinção nas bandas de interesse com a *lei de Cardelli, Clayton, and Mathis (1989)*. O produto desta rotina é um vetor para cada banda com a extinção de cada objeto que foi submetido à análise. Desta forma, basta subtrair estes valores das magnitudes, em suas respectivas bandas fotométricas.

2.3 Banda de referência

O *sextractor* pode ser utilizado em *single* ou *dual mode*. O primeiro irá analisar as imagens individualmente, enquanto o segundo utiliza a imagem de referência (que corresponde a uma determinada banda) juntamente com as outras. A banda de referência é determinada analisando a quantidade de objetos que foram identificados (tabela 2.2). Àquela que tiver o maior número, passa a ser a referência para as outras imagens no *dual mode*, o que faz com que os catálogos das três bandas tenham os mesmos objetos identificados. Neste caso, a banda de referência é a banda *i*'.

Tabela 2.3 - Número de objetos identificados em cada imagem.

BANDAS:	r	i	z
Número de Objetos:	142743	151038	108394

Análise

A análise de um grande volume de dados, se torna mais eficiente quando organizados em gráficos que permitem a visualização de como as medidas estão se comportando. Seja em uma (histogramas), duas ou três dimensões. As seções seguintes irão apresentar o "passo-a-passo" de como essas análises foram feitas.

3.1 Intervalo de Magnitude de Confiança

Como foram feitas diversas operações para corrigir as medidas de magnitude, estas foram dispostas em histogramas (Figura 3.1) para avaliar a distribuição, coerência e a magnitude limite (pico do histograma na banda de referência considerada).

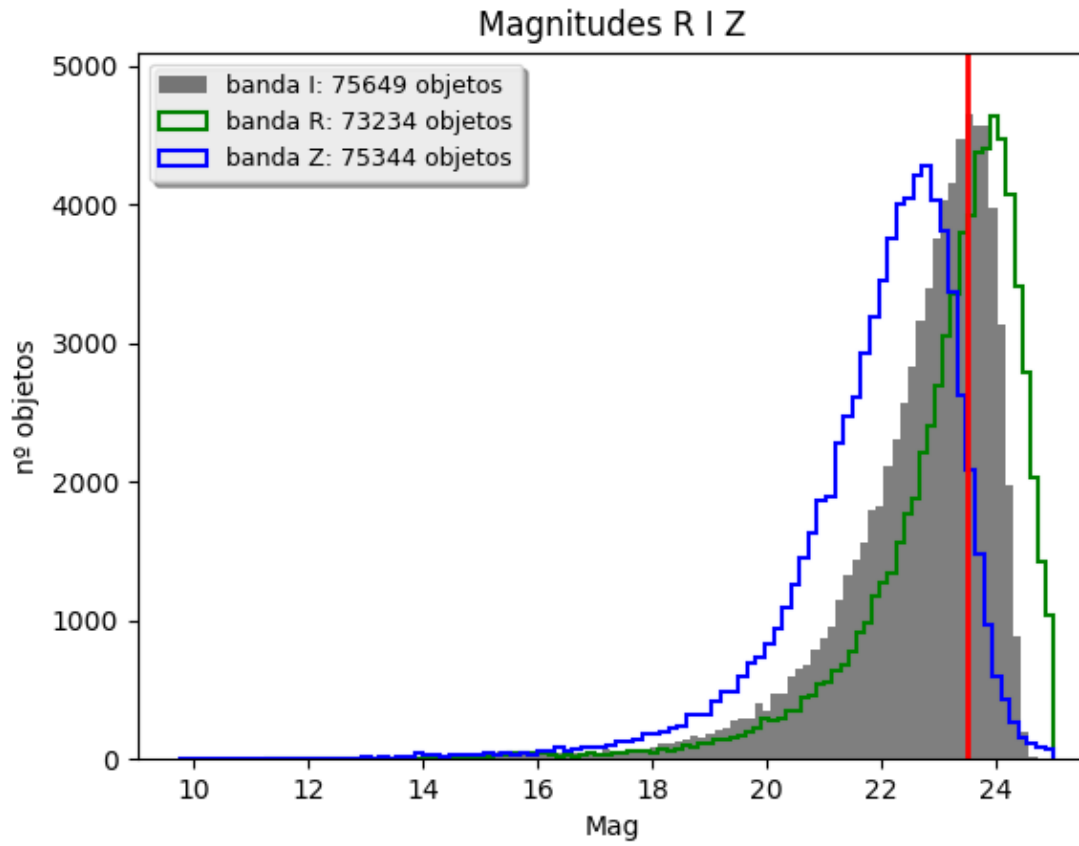


Figura 3.1: Histogramas com todos os objetos nas bandas r' , i' , z' . O traço em vermelho indica o pico do histograma da banda i' (≈ 23.5).

Outro fator importante é como o sinal-ruído se comporta em diferentes intervalos. Para observar este efeito, é interessante cruzar os dados da magnitude pelo seu erro (Figura 3.2). A análise deste gráfico mostra que o erro aumenta conforme a magnitude aumenta, o que é compreensível, visto que magnitudes mais altas representam objetos mais fracos e, conseqüentemente, a detecção é mais difícil.

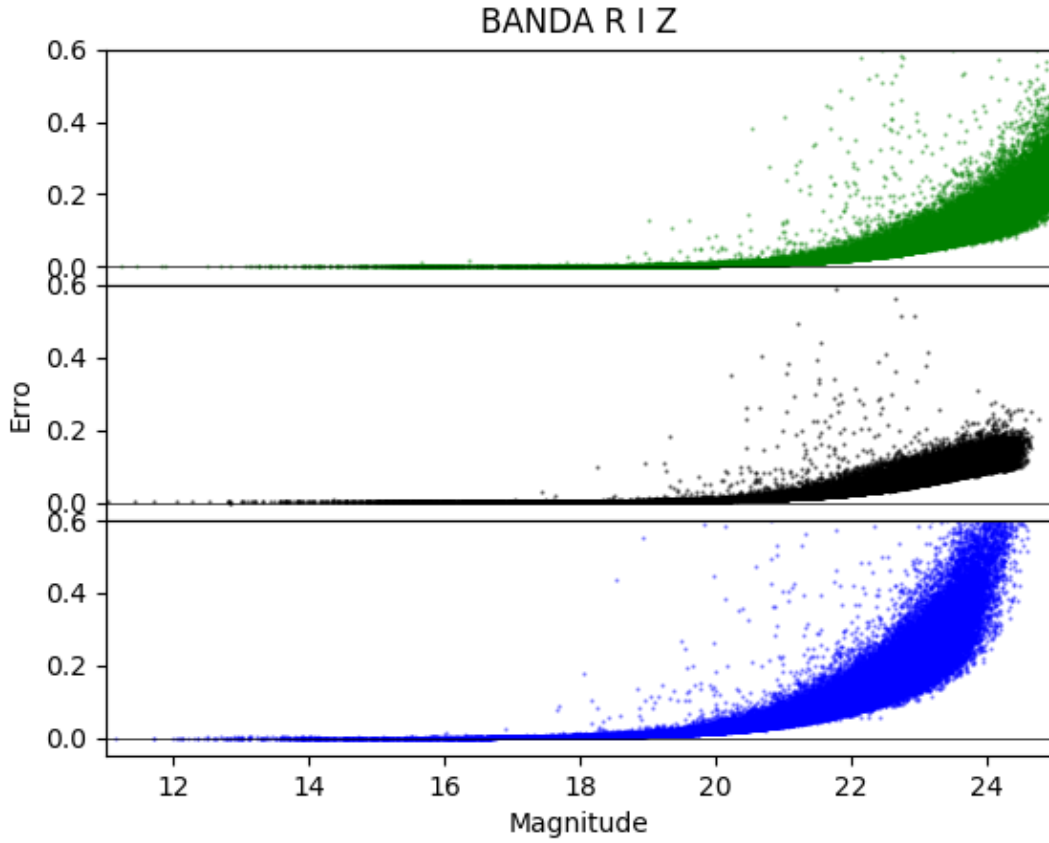


Figura 3.2: Gráfico dos erros nas magnitudes em função das magnitudes.

Se for adotado como tolerância um erro de ≈ 0.5 , é possível observar que o intervalo de confiança da magnitude converge para o valor de 23.5. Também foi adotado $i' > 17$, para evitar medições saturadas. Portanto, a partir daqui, serão utilizados apenas os objetos com $17 < i' < 23.5$.

3.2 Separação Estrela-Galáxia

O *sExtractor* identifica todos os objetos possíveis na imagem submetida à extração. Porém, o interesse deste estudo está somente nas galáxias.

Para identificar e fazer a separação, as análises foram feitas a partir das relações entre as magnitudes e os parâmetros *spread_model* (gerado pela PSFEx), estelaridade e o raio efetivo (*flux_radius*). A partir da análise gráfica da distribuição desses objetos, foi utilizado como um dos limites $spread_model < 0.003$ sendo composto por estrelas e, acima disso,

galáxias (Figura 3.3).

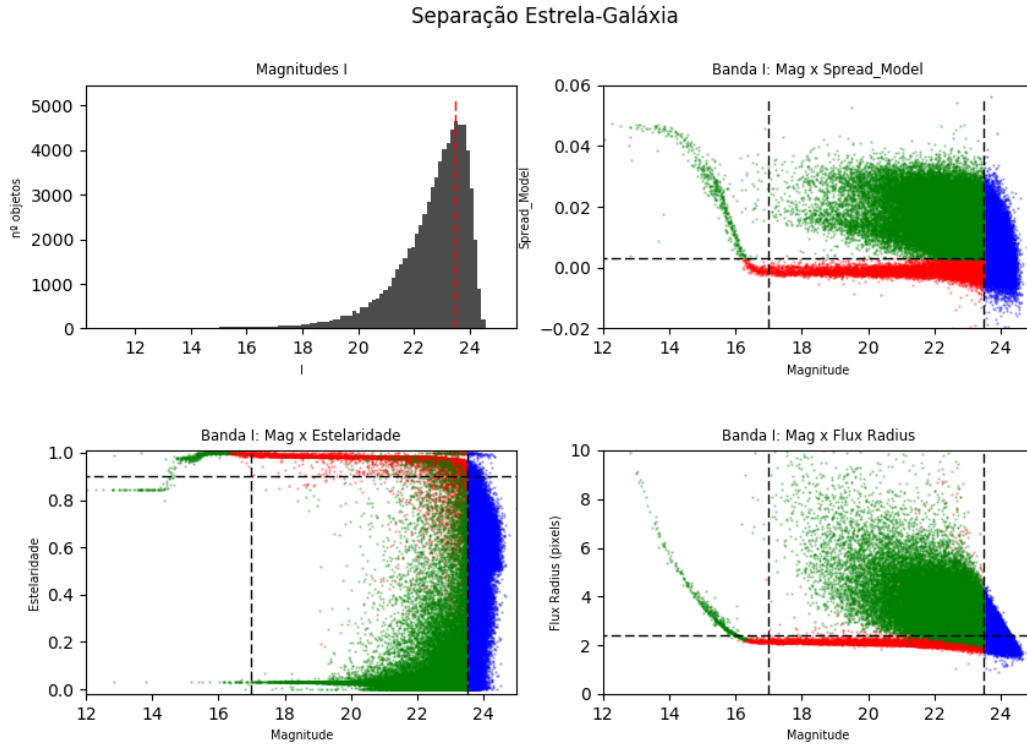


Figura 3.3: Acima à esquerda: Histograma das magnitudes na banda i' com o traço como corte. Acima à direita: magnitude i' vs. *Spread_Model*. Os traços mostram os limites que foram adotados e as cores representam objetos $i' > 23.5$ (azul) e *spread_model* < 0.003 (vermelho) que serão descartados. A amostra em verde representam os objetos que têm maior probabilidade de serem galáxias. Abaixo à esquerda: magnitude i' vs. estelaridade. Abaixo à direita: magnitude i' vs. *flux_radius*

O gráficos da estelaridade e do *flux_radius* corroboram para a escolha dos limites, uma vez que objetos que apresentam alta estelaridade e baixo *flux_radius*, provavelmente são estrelas (como os gráficos estão indicando).

Dessa forma, as próximas etapas levarão em conta apenas os objetos que estão representados nos gráficos na cor verde e acima da magnitude 17, pois são aqueles que apresentam maior probabilidade de serem galáxias (44518 objetos).

3.3 Seleção dos Objetos do Catálogo COSMOS2015

Também foram aplicados alguns critérios para selecionar os objetos que seguirão na análise para o catálogo COSMOS2015, que serão utilizados para confrontar com os objetos

dos nossos catálogos para determinar quais deles estão no intervalo de *redshift* do tripleto.

O procedimento de correção de extinção também foi feito para os objetos deste catálogo. Também foi verificado que a diferença entre as magnitudes do COSMOS2015 com o SDSS é muito baixa, o que sugere que já estão no sistema fotométrico do *Sloan*, não havendo necessidade de fazer a calibração. Assim, foi utilizado o mesmo intervalo de confiança.

O que torna este catálogo interessante para este trabalho, é o fato dele ter as medidas de *redshift* fotométrico para os seus objetos, o que possibilita a aplicação dos métodos de seleção para encontrar aqueles que estão em um intervalo próximo ao tripleto. Outro aspecto interessante, é que o COSMOS2015 apresenta valores de *redshift* apenas para objetos classificados como galáxia, outras detecções como estrelas e raios-x cósmicos, são apresentados como 0 e 9.99, respectivamente. Assim, utilizou-se o intervalo de $z = 1.506 \pm 0.05$, onde o primeiro valor é *redshift* médio do tripleto. Após a aplicação destes critérios de seleção, sobraram 980 objetos deste catálogo que seguirão na análise.

3.4 Diagramas e comparação entre os selecionados

Neste ponto, uma relação importante são as cores. Ou seja, subtrair as magnitudes do mesmo objeto para as diferentes bandas e observar como a distribuição dessas grandezas estão se relacionando. Foram feitos três diagramas para os objetos selecionados dos catálogos extraídos com o *SExtractor* e COSMOS: $r'-i'$ vs. $i'-z'$ (cor-cor); i' vs. $r'-i'$ e i' vs. $i'-z'$ (cor-magnitude)(Figura 3.4 e 3.5).

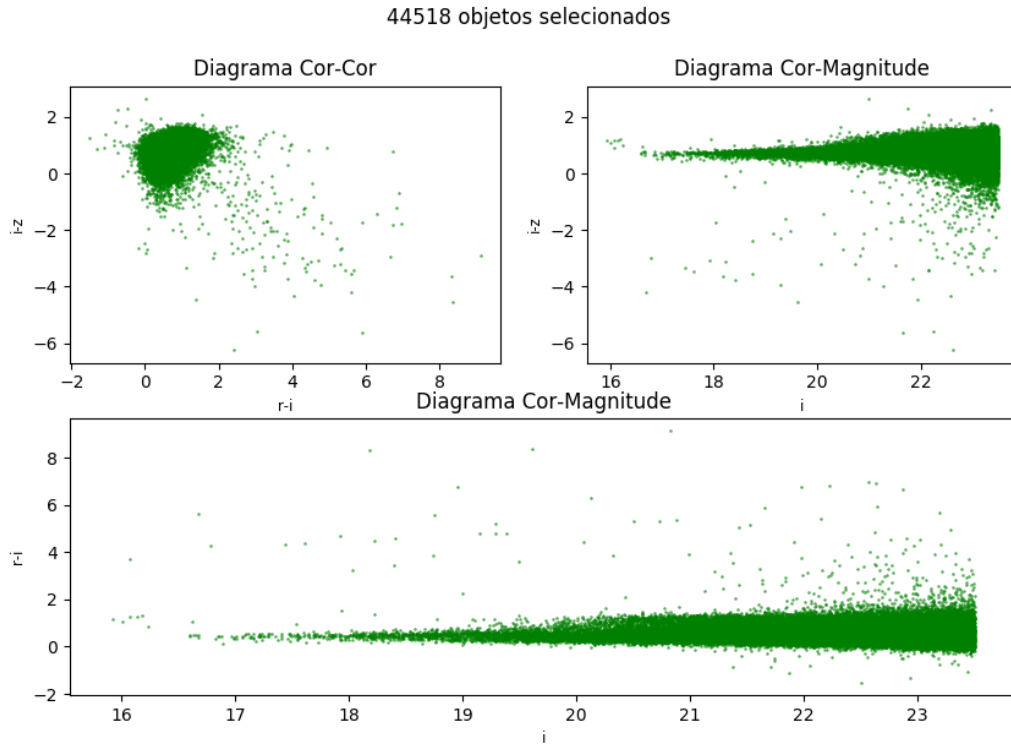


Figura 3.4: Os diagramas mostram como os objetos selecionados nos nossos catálogos se distribuem em relação às suas cores e i' .

A análise da Figura 3.5 permite observar onde se concentram os corpos que estão na distância aproximada dos quasares. Por isso, através desses diagramas, foram escolhidos os intervalos de cores e i' que apresentam uma densidade mais elevada de objetos: $0.25 < i' - z' < 0.5$; $0 < r' - i' < 0.5$; $i' > 22$.

Assim, foram atribuídos os mesmos intervalos nos diagramas dos catálogos do *SExtractor*, de forma a restar 3186 galáxias para as próximas análises.

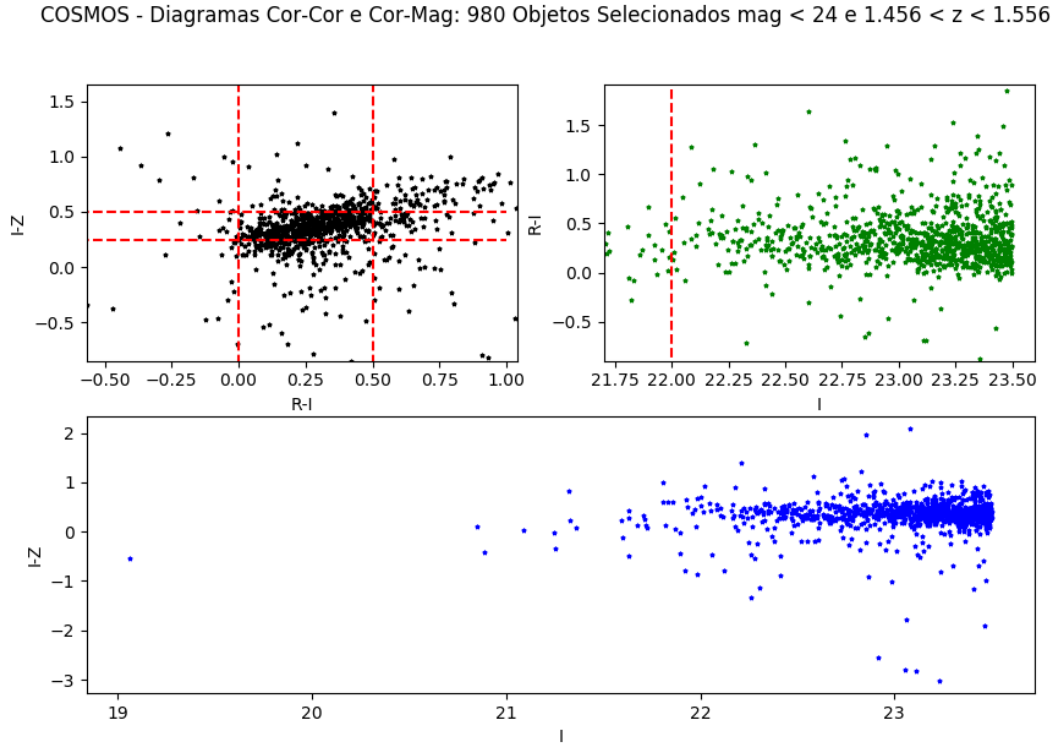


Figura 3.5: Os diagramas mostram como os objetos seleccionados nos catálogo COSMOS2015 se distribuem em relação às suas cores e i' . Como são objetos que estão nas proximidades dos quasares, foram utilizadas as regiões mais povoadas como critério de seleção

3.5 O triplo e seus candidatos a vizinhos

Todos os procedimentos feitos até o momento, foram para seleccionar corpos que sejam galáxias, com um valor de erro relativamente baixo nas magnitudes e que estejam a uma distância (com relação à Terra) semelhante à do triplo. Neste momento, é interessante colocarmos as galáxias seleccionadas e o triplo juntos em um gráfico (Figura 3.6) que cruza as coordenadas desses corpos para melhor compreender como estão distribuídos neste plano.

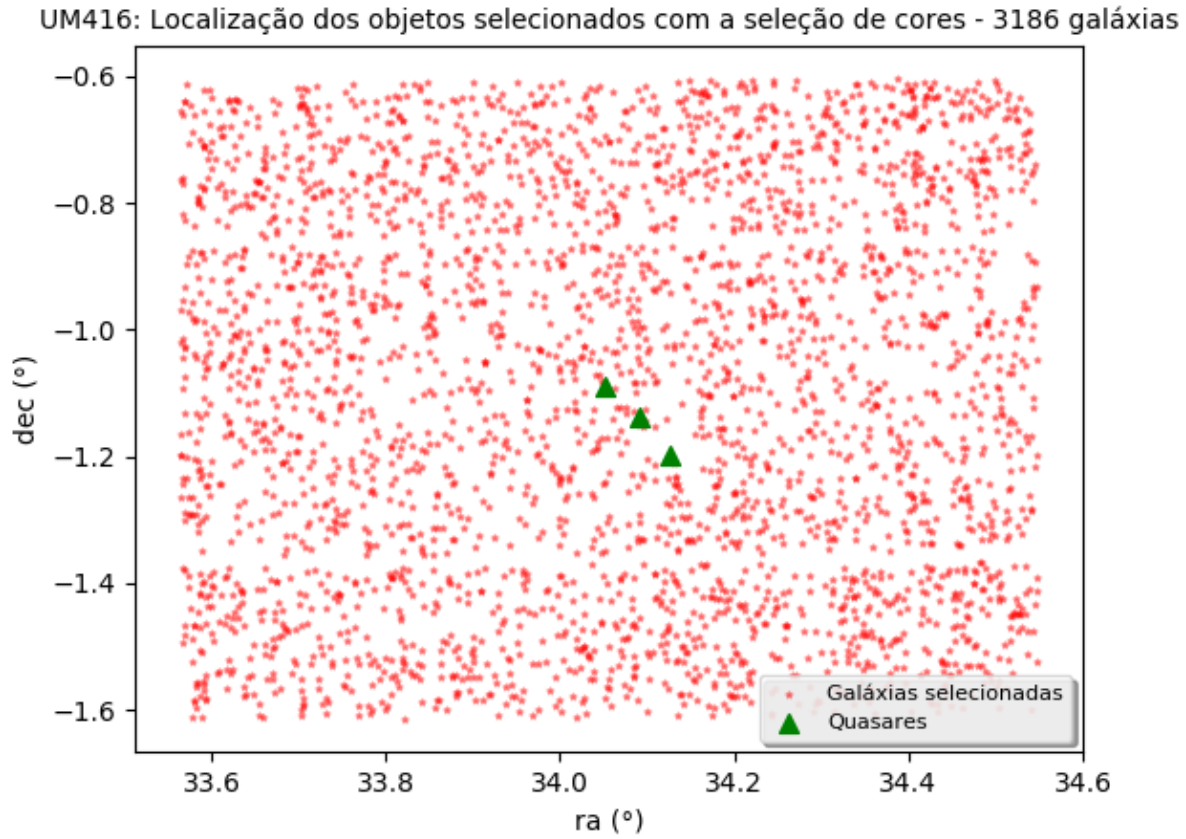


Figura 3.6: Distribuição espacial das galáxias selecionadas e do triploto.

Para obter uma informação mais precisa sobre essa distribuição, também convém gerar um mapa de densidade. Para isto, é necessário subdividir este plano em áreas menores com dimensões pré-determinadas, o que irá fornecer quantas galáxias pertencem a cada subdivisão. Adotando o modelo cosmológico Λ CDM ($\Omega_m \approx 0.3$, $\Omega_\Lambda \approx 0.7$ e $H_0 \approx 70$ Km/s/Mpc), é possível calcular que no *redshift* médio do triploto (1.506), 1 Mpc corresponde a 0.0328° (para modelos diferentes, deve-se levar em conta como essa distância afeta as dimensões no local que está sendo estudado), o que determina como a divisão em áreas de 1 Mpc² será feita. Como essas galáxias estão distribuídas em uma região de $\approx 1^\circ \times 1^\circ$, foi possível subdividir cada eixo 31 vezes, formando um plano com 961 quadrados de 1 Mpc² de área (Figura 3.7). Este mapa apresenta em média (3 ± 2) galáxias/Mpc².

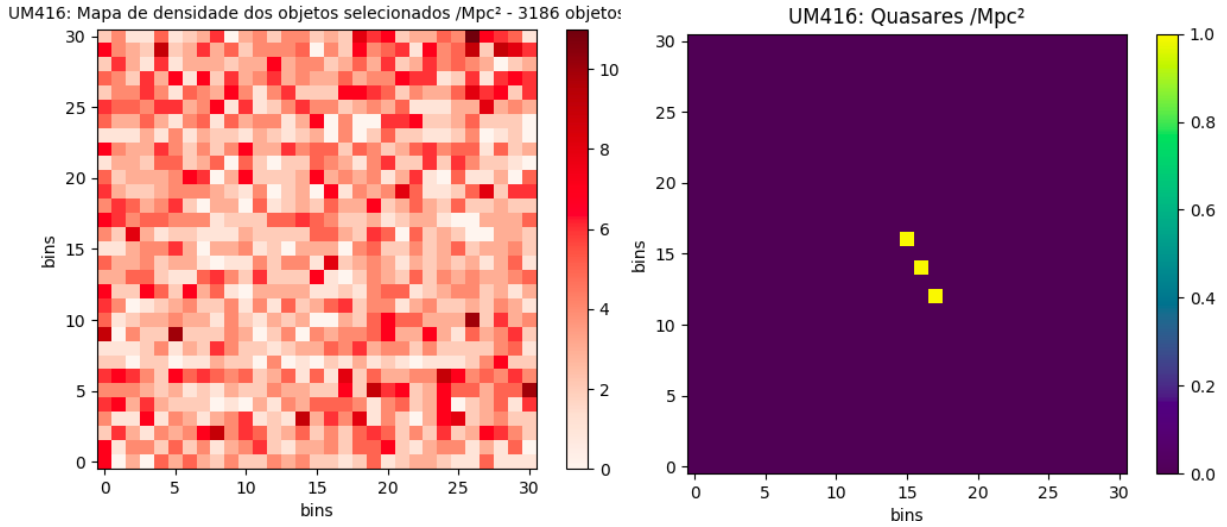


Figura 3.7: Esquerda: Mapa de densidade das galáxias selecionadas. Direita: Mapa de densidade indicando os quadrados onde estão os quasares.

É importante saber em qual área cada quasar está, pois assim é possível identificar a quantidade de galáxias em cada uma delas. A figura 3.8 mostra que um dos três quasares está em uma das áreas mais povoadas, sendo uma região com 3σ acima da média, o que indica que é possível tratar esta região como um potencial aglomerado. O quasar que ocupa esta região é um *radio-loud* denominado 2SLAQ J021621.98-010818.5.

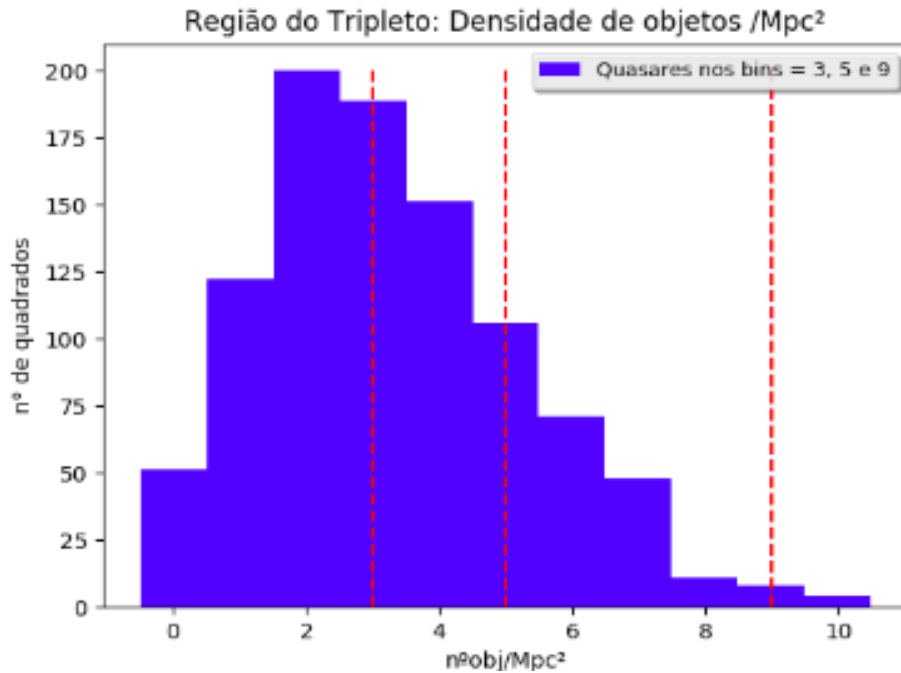


Figura 3.8: O tracejado em vermelho indica a densidade de galáxias no quadrado em que cada quasar está.

Por fim, foram selecionados apenas os objetos que estão nesta área de 1 Mpc^2 , a fim de analisar como essas galáxias estão distribuídas quanto às suas localizações espaciais e suas cores em relação à média das 3186 galáxias da Figura 3.6. Esta etapa será discutida na Conclusão.

Conclusão

Considerando a área de 1 Mpc^2 , na qual o quasar 2SLAQ J021621.98-010818.5 está no centro, observa-se um total de dez galáxias distribuídas ao seu redor (Figura 4.1 - Esquerda), o que a torna uma região de alta densidade. Este fato, por si só, é um indicador de que nas proximidades deste quasar pode haver um grupo ou aglomerado, ou estar em processo de formação de uma dessas estruturas.

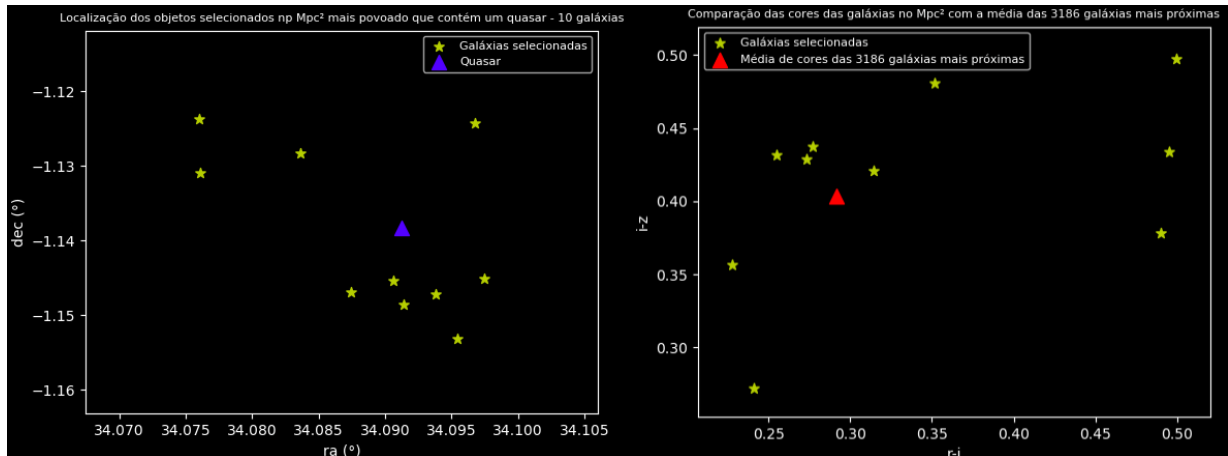


Figura 4.1: Esquerda: Localização espacial do 2SLAQ J021621.98-010818.5 e as 10 galáxias mais próximas a ele (1 Mpc^2). Direita: Diagrama cor-cor comparando as 10 galáxias mais próximas com a média das 3186 da Figura 3.6

Outra análise interessante, é a distribuição de cores (Figura 4.1 - Direita), que mostra que as galáxias localizadas nesta área, apresentam (em média) coloração mais avermelhada que a média das 3186 selecionadas na Figura 3.6 (Tabela 4.1), o que é o esperado para galáxias que estão nessas regiões devido a presença de gás e poeira do meio intra-aglomerado.

Tabela 4.1 - Média das cores das 3186 galáxias na região do tripleto e das 10 que estão na área de 1 Mpc^2 do quasar 2SLAQ J021621.98-010818.5.

n° de galáxias:	3186	10
r' - i':	0.29 ± 0.12	0.34 ± 0.11
i' - z':	0.40 ± 0.07	0.41 ± 0.07

A perspectiva é que daremos continuidade à essas análises, utilizando redes neurais artificiais (ANNz2 por Sadeh et al. 2016) para estimar os *redshifts* fotométricos das galáxias dos nossos catálogos com maior exatidão. De qualquer forma, os resultados que foram obtidos neste trabalho, serão importantes para compararmos com as novas estimativas e, assim, avaliarmos as diferenças e convergências dos dois métodos.

Referências Bibliográficas

- BERTIN, Emmanuel; ARNOUTS, Stephane. SExtractor: Software for source extraction. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, v. 117, n. 2, p. 393-404, 1996.
- BERTIN, E. Automated morphometry with sextractor and psfex. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XX*. 2011. p. 435.
- Boris, N. V., Sodré Jr, L., Cypriano, E. S., Santos, W. A., De Oliveira, C. M., West, M. (2007). Searching High-Redshift Large-Scale Structures: Photometry of Four Fields around Quasar Pairs at $z \sim 1$. *The Astrophysical Journal*, 666(2), 747.
- CARDELLI, Jason A.; CLAYTON, Geoffrey C.; MATHIS, John S. The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction. *The Astrophysical Journal*, v. 345, p. 245-256, 1989.
- DUNKLEY, J. et al. FIVE-YEAR WILKINSON MICROWAVE ANISOTROPY PROBE* OBSERVATIONS: LIKELIHOODS AND PARAMETERS FROM THE WMAP DATA. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 180, n. 2, p. 306, 2009.
- KLYPIN, Anatoly A.; TRUJILLO-GOMEZ, Sebastian; PRIMACK, Joel. Dark matter halos in the standard cosmological model: Results from the bolshoi simulation. *The Astrophysical Journal*, v. 740, n. 2, p. 102, 2011.
- LAIGLE, C. et al. The COSMOS2015 catalog: exploring the $1 < z < 6$ universe with half a million galaxies. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 224, n. 2, p. 24, 2016.
- MEI, Simona et al. Evolution of the color-magnitude relation in high-redshift clusters: Blue early-type galaxies and red pairs in RDCS J0910+ 5422. *The Astrophysical Journal*, v. 639, n. 1, p. 81, 2006.

SADEH, Iftach; ABDALLA, Filipe B.; LAHAV, Ofer. ANNz2: Photometric Redshift and Probability Distribution Function Estimation using Machine Learning. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, v. 128, n. 968, p. 104502, 2016.

SANCHEZ, Sebastian F.; GONZÁLEZ-SERRANO, J. I. Cluster of galaxies around seven radio-loud QSOs at $1 < z < 1.6$ -II. K-band images. Astronomy & Astrophysics, v. 396, n. 3, p. 773-786, 2002.

SCHLEGEL, David J.; FINKBEINER, Douglas P.; DAVIS, Marc. Maps of dust infrared emission for use in estimation of reddening and cosmic microwave background radiation foregrounds. The Astrophysical Journal, v. 500, n. 2, p. 525, 1998.

TANAKA, Ichi et al. Superclustering of Faint Galaxies in the Field of a QSO Concentration at $z \approx 1.1$. The Astrophysical Journal, v. 547, n. 2, p. 521, 2001.

VOIT, G. Mark. Tracing cosmic evolution with clusters of galaxies. Reviews of Modern Physics, v. 77, n. 1, p. 207, 2005.

WOLD, Margrethe et al. Clustering of galaxies around radio quasars at $0.5 \leq z \leq 0.8$. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 316, n. 2, p. 267-282, 2000.

WOLD, Margrethe et al. Radio-quiet quasar environments at $0.5 \leq z \leq 0.8$. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 323, n. 1, p. 231-247, 2001.