

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física

**Desvendando a cessação de formação estelar:
uma comparação dos resultados de uma
decomposição bojo-disco entre galáxias do
Green Valley e *Star Forming***

Ana Carolina Santiago Menezes

Porto Alegre

2023

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física

**Desvendando a cessação de formação estelar: uma
comparação dos resultados de uma decomposição
bojo-disco entre galáxias do *Green Valley* e *Star
Forming***

Ana Carolina Santiago Menezes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como requisito necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Física - ênfase em Astrofísica.

Orientador: Allan Schnorr Müller

Porto Alegre

2023

Agradecimentos

Agradeço ao Pedro, meu companheiro de vida, melhor amigo e marido, nada disso seria possível sem o seu apoio. Muito obrigada por acreditar em mim e por ser meu maior incentivador. Te amo, amor!

Ao Ragnar, meu filho canino, se não fossem suas mordidas, brincadeiras e companhia, eu teria enlouquecido ao longo desses cinco anos.

À minha família do Rio de Janeiro, meus pais, avós e irmão, amo tanto vocês! Obrigada por tudo.

Ao meu orientador, Allan Schnorr Müller, poucos alunos têm a oportunidade de trabalhar com alguém tão incentivador, compreensivo e inspirador. Se eu for metade do profissional que você é, estarei muito feliz!

Às professoras da UFRGS, em especial, Alejandra Romero e Marina Trevisan, vocês me guiaram e me ajudaram a chegar até aqui. Sou muito grata por tê-las como modelo dentro da academia. E quando eu crescer, quero ser igual vocês!

Aos meus amigos da física UFRGS, cara, vocês são incríveis demais! Galera do AstroLab, do café da física, amigos nas cadeiras, em especial, Wilian Bauer, Natalie Bensley, João Gustavo Barcellos, João Gabriel Medeiros, Felícia Palacios, Ana Antonini... Vocês foram essenciais para um alívio e descontração em meio à loucura que é a graduação. Amo vocês e os quero em minha vida! E, é claro, agradeço à Katia S. Clerice por aceitar fazer parte da banca e participar deste momento incrível conosco.

Aos meus professores da UFRJ, em especial, Paulo A. Afrânio Lopes, meu primeiro orientador e quem me apresentou o incrível mundo da astrofísica extragaláctica.

Aos meus amigos do Rio de Janeiro, em especial, galera da UFRJ (grupo do Tretas em Família) e galera do Colégio Pedro II (grupo do Janela Ex-aluna). Sinto tanta saudade do nosso dia-a-dia no RJ, de cada saída, brincadeiras e até das brigas! Amo vocês e sou grata por ter cada um de vocês na minha vida por todos esses anos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo apoio financeiro ao longo desse trabalho.

*“A normalidade é uma estrada
pavimentada: Confortável de se
andar, mas flores nunca
crescerão nela.” -V. Van Gogh*

Resumo

Em um diagrama de massa por taxa de formação estelar, podemos dividir as galáxias em três grupos: a *Main Sequence* é composta por galáxias que formam estrelas, a *Passive Sequence* é composta por galáxias quiescentes; e entre esses dois grupos, temos o *Green Valley*. Estudos anteriores mostraram que a probabilidade de uma galáxia ter cessado sua formação estelar está relacionada, principalmente, a sua massa estelar, dispersão de velocidades e concentração. A origem dessa relação não é clara: é possível que a entrada ao *Green Valley* esteja relacionada com um aumento de dispersão de velocidades e concentração. Alternativamente, galáxias com maiores concentrações e dispersões de velocidade podem ser mais suscetíveis ao processo de *quenching*. Com o objetivo de identificar os processos responsáveis pela cessação da formação estelar e verificar qual destes cenários é mais plausível, estudamos uma amostra de galáxias centrais do *Green Valley* e duas amostras de controle de galáxias centrais da *Main Sequence*, uma delas pareada com a amostra do *Green Valley* somente em massa e *redshift*, e outra pareada em massa, *redshift*, concentração e dispersão de velocidades central. Comparamos parâmetros morfológicos obtidos com decomposições bojo-disco, além de compararmos a prevalência de estruturas como anéis, barras e braços espirais. Para isso, fizemos uso de imagens profundas e de alta resolução nas bandas *g* e *r*, obtidas com o telescópio Subaru como parte do *Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program*. Com os comparativos morfológicos, vimos que a ausência de diferenças estruturais na amostra pareada por dispersão de velocidades e concentração, que são parâmetros morfológicos, nos aponta que a morfologia é o fator que mais contribui para o excesso, reportado em trabalhos anteriores, dessas estruturas no *Green Valley*. Dentre nossas perspectivas futuras está repetir os estudos para amostras maiores e assim obter uma estatística mais significativa.

Palavras-chave: Galáxias - Bojo - Disco - Formação Estelar - *Quenching* - Evolução - Estrutura - *Green Valley*

Abstract

In a mass-to-star formation rate diagram, galaxies can be divided into three groups: the Main Sequence comprises star-forming galaxies, the Passive Sequence consists of quiescent galaxies, and between these two groups, we have the Green Valley. Previous studies have shown that the probability of a galaxy ceasing its star formation is primarily related to its stellar mass, velocity dispersion, and concentration. The origin of this relation is unclear: it is possible that entry into the Green Valley is related to an increase in velocity dispersion and concentration; alternatively, galaxies with higher concentrations and velocity dispersions may be more susceptible to the quenching process. In order to identify the processes responsible for the cessation of star formation and to determine which of these scenarios is more plausible, we studied a sample of central galaxies in the Green Valley and two control samples of central galaxies in the Main Sequence. One of them was matched to the Green Valley sample only in terms of mass and redshift, while the other was matched in terms of mass, redshift, concentration, and central velocity dispersion. We compared morphological parameters obtained through bulge-disk decompositions and assessed the prevalence of structures such as rings, bars, and spiral arms. To do this, we used deep, high-resolution images in the g and r bands obtained with the Subaru telescope as part of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program. From the morphological comparisons, we found that the absence of structural differences in the sample matched by velocity dispersion and concentration, which are morphological parameters, indicates that morphology is the factor that contributes the most to the excess of these structures in the Green Valley, as reported in previous works. One of our future prospects is to repeat these studies with larger samples to obtain more significant statistics.

Keywords: Galaxies - Bulge - Disk - Star Formation - Quenching - Evolution - Structure - Green Valley

Sumário

Lista de Figuras	1
Lista de Tabelas	3
1 Introdução	4
1.1 Morfologia de galáxias	5
1.2 Perfil de Sérsic	7
1.3 Objetivos e estrutura do trabalho	8
2 Metodologia	9
2.1 Dados e seleção das amostras	9
2.2 Decomposição bojo-disco	11
3 Resultados	15
3.1 Lopsidedness	17
3.2 Estruturas morfológicas	18
4 Discussão	20
5 Conclusão	22
5.1 Perspectivas	22
Referências	23
6 Apêndice	25

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Bimodalidade mostrada em um diagrama de taxa de formação estelar por massa. As cores representam a contagem de galáxias: altas contagens (em vermelho) e baixas contagens (em roxo). As linhas laranjas dividem os três grupos de galáxias: galáxias formadoras de estrelas (SFG), galáxias do <i>Green Valley</i> (GVG) e galáxias passivas (PG) (Trussler et al., 2020).	4
Figura 1.2 – Ilustração do Diagrama de Hubble. Imagem: SDSS SciServer	6
Figura 1.3 – Exemplos de galáxias do <i>Green Valley</i> : (a) pseudobojo e (b) bojo clássico. Imagens: <i>Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program</i>	8
Figura 2.1 – Exemplos de galáxias do <i>Green Valley</i> à esquerda; galáxias <i>Star Forming</i> pareadas em massa e <i>redshift</i> ao centro; galáxias <i>Star Forming</i> pareadas em dispersão de velocidades, concentração, massa e <i>redshift</i> à direita. Imagens: <i>Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program</i>	10
Figura 2.2 – Exemplos das decomposições bojo-disco em três galáxias do <i>Green Valley</i> . À esquerda temos as imagens das galáxias na banda <i>r</i> ; ao centro estão mostrados os modelos contruídos pelo IMFIT e à direita, temos os mapas residuais. A primeira galáxia descrevemos como uma espiral barrada; na segunda, os resíduos evidenciam a presença de um anel e uma barra; já para a terceira galáxia, vemos a presença de braços espirais, uma barra e anel.	12
Figura 2.3 – Exemplos das decomposições bojo-disco em três galáxias <i>Star Forming</i> pareadas em massa e <i>redshift</i> . À esquerda temos as imagens das galáxias na banda <i>r</i> ; ao centro estão mostrados os modelos contruídos pelo IMFIT e à direita, temos os mapas residuais. Para as duas primeiras galáxias deste exemplo, vemos a presença de braços espirais e barra; enquanto que para a terceira vemos seus braços espirais.	13
Figura 2.4 – Exemplos das decomposições bojo-disco em três galáxias <i>Star Forming</i> pareadas em dispersão de velocidades, concentração, massa e <i>redshift</i> . À esquerda temos as imagens das galáxias na banda <i>r</i> ; ao centro estão mostrados os modelos contruídos pelo IMFIT e à direita, temos os mapas residuais. Na leitura dos resíduos destas galáxias, podemos ver que são espirais e, no caso da segunda galáxia, apresenta um anel.	14

-
- Figura 3.1 – Frações B/T (bojo/total), referenciando o percentual de luz atribuído ao bojo, quando comparado à luminosidade total da galáxia. Na legenda, *SF* se refere às galáxias pareadas com a amostra do *Green Valley* em massa e *redshift*; enquanto que *SFmorfo* é a pareada em massa, *redshift*, dispersão de velocidades e concentração. *P-values* obtidos por testes KS 16
- Figura 3.2 – No histograma à esquerda, vemos a distribuição dos valores de Raio Efetivo dos bojos em nossas amostras; à direita, são referentes aos raios efetivos dos discos das galáxias. *P-values* obtidos por testes KS 16
- Figura 3.3 – Distribuição dos índices de Sérsic para as três amostras estudadas. Onde *SF* se refere às galáxias pareadas com a amostra do *Green Valley* em massa e *redshift*; enquanto que *SFmorfo* é a pareada em massa, *redshift*, dispersão de velocidades e concentração. *P-values* obtidos por testes KS 17
- Figura 3.4 – Algumas das galáxias *lopsided* encontradas na amostra de *Star Forming* pareadas em massa e *redshift*. Imagens: *Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program*. 18
- Figura 3.5 – Exemplos de galáxias do *Green Valley* na banda G e seus resíduos: (a) braços espirais, (b) *unclear*, (c) anel, barra e braços espirais. 19
- Figura 4.1 – Distribuição dos índices de Sérsic do bojo para galáxias com frações bojo/total menores que 0.3 21

Lista de Tabelas

Tabela 1	–	Comparativo da presença de estruturas significativas entre as três amostras	18
Tabela 2	–	Resultados do teste exato de Fisher.	19
Tabela 3	–	<i>Green Valley</i> : massas, frações bojo/total e índices de Sérsic para os bojos	25
Tabela 4	–	<i>Star Forming</i> : massas, frações bojo/total e índices de Sérsic para os bojos	26
Tabela 5	–	<i>Star Forming</i> : massas, frações bojo/total e índices de Sérsic para os bojos	27
Tabela 6	–	<i>Green Valley</i> : ascensão reta e declinação	28
Tabela 7	–	<i>Star Forming</i> : ascensão reta e declinação	29
Tabela 8	–	<i>Star Forming</i> : ascensão reta e declinação	30

1 Introdução

“People have stars, but they aren’t the same.
For travelers, the stars are guides.
For other people, they’re nothing but tiny lights.
And for still others, who are scholars, they’re problems...”

– Antoine de Saint-Exupéry, *The Little Prince*

O que é o *Green Valley*? Trata-se de uma população intermediária de galáxias, um termo figurativo que representa uma fase no ciclo de vida dessas estruturas cósmicas. Em um diagrama relacionando a massa estelar da galáxia com sua taxa de formação estelar, vemos dois picos de densidade: um referente às galáxias do grupo *Star Forming*, composto por galáxias mais azuladas e com altas taxas de formação estelar; enquanto o outro se refere às galáxias passivas, que são mais avermelhadas e sem evidências de formação estelar recente. O *Green Valley* é uma região intermediária neste diagrama e acredita-se ser uma região de transição entre os dois maiores grupos, conforme as taxas de formação estelar vão diminuindo. A este processo de cessação na formação estelar damos o nome de “*quenching*”.

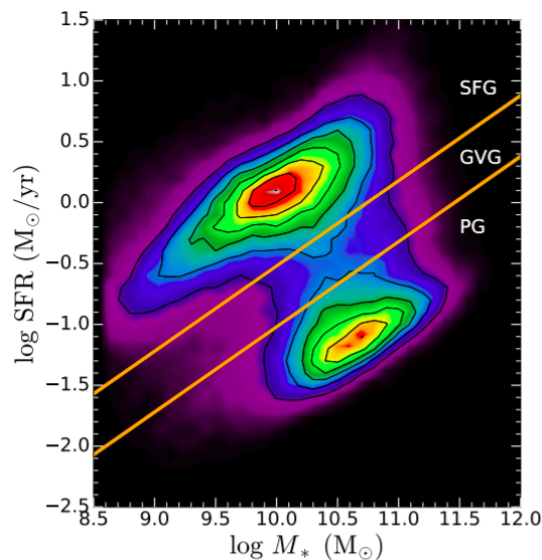


Figura 1.1 – Bimodalidade mostrada em um diagrama de taxa de formação estelar por massa. As cores representam a contagem de galáxias: altas contagens (em vermelho) e baixas contagens (em roxo). As linhas laranjas dividem os três grupos de galáxias: galáxias formadoras de estrelas (SFG), galáxias do *Green Valley* (GVG) e galáxias passivas (PG) (Trussler et al., 2020).

Mas o que faz uma galáxia *Star Forming* entrar em processo de *quenching* e fazer parte da população do *Green Valley*? Essa é uma das grandes perguntas da astrofísica e algumas hipóteses são levantadas. A mais popular delas diz que a galáxia, ainda em sua fase *Star Forming*, passa por uma transformação em sua morfologia, afetando sua capacidade de formar novas estrelas e isso a leva ao *Green Valley*.

Contudo, neste trabalho, queremos testar um outro cenário. Um cenário alternativo e menos popular, mas com grande potencial apesar de sua dificuldade em ser comprovado: e se a galáxia não mudasse sua morfologia ao transicionar, mas sim já tivesse uma morfologia que a faz ser propícia à transição? Parece uma pequena sutileza, uma mudança de preposição entre duas frases mas com grande diferença de significado, nos fornecendo uma perspectiva única sobre a evolução das galáxias. Em suma, estamos testando um cenário em que subpopulações de galáxias *Star Forming*, com específicas características morfológicas, têm maiores probabilidades de sofrer um *quenching* e ir para o *Green Valley*.

1.1 Morfologia de galáxias

A morfologia de uma galáxia, ou seja, sua forma física e estrutural, desempenha um papel fundamental na compreensão de seu comportamento e evolução. Em 1926, o astrônomo Edwin Hubble foi pioneiro na classificação das galáxias com base em sua morfologia, criando o que hoje é conhecido como o “Diagrama de Hubble” (figura 1.2). Esta classificação tornou-se fundamental para nossa compreensão das diferentes morfologias de galáxias e sua evolução.

As galáxias podem apresentar uma ampla variedade de formas e estruturas, e essa diversidade pode ser usada para distinguir entre diferentes tipos de galáxias. O Diagrama de Hubble divide as galáxias em categorias principais, como espirais e elípticas, com subdivisões adicionais baseadas em estruturas morfológicas como barras, forma dos braços espirais, entre outros. Dentro dessa classificação, as galáxias "*early type*" (ou tipo precoce) são caracterizadas por uma morfologia mais suave e cores mais avermelhadas, enquanto as galáxias "*late type*" (ou tipo tardio) tendem a exibir estruturas mais complexas, como braços espirais, e cores azuladas.

Galáxias *Star Forming* geralmente exibem morfologias espirais, caracterizadas por braços espirais bem definidos, podendo também ser barradas, ou apresentar anéis. Por outro lado, galáxias passivas, também conhecidas como galáxias quiescentes, tendem a ter morfologias mais elípticas, com menos evidência de formação estelar recente. A relação entre a morfologia e a taxa de formação estelar é fundamental para entender como as galáxias evoluem ao longo do tempo cósmico.

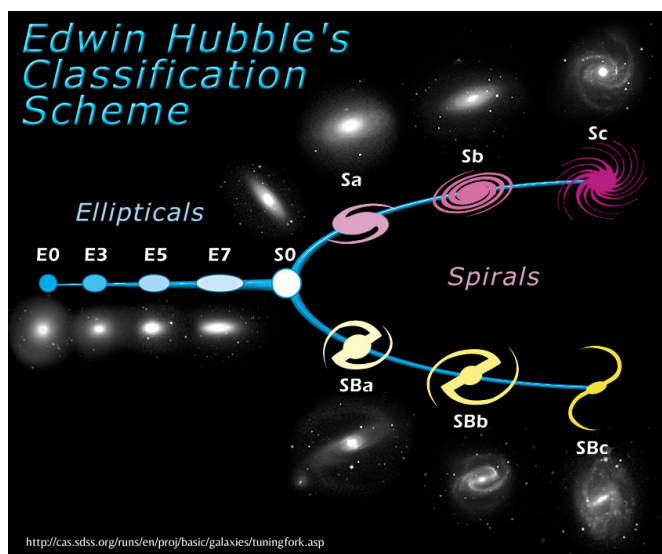


Figura 1.2 – Ilustração do Diagrama de Hubble. Imagem: SDSS SciServer

Além da classificação de Hubble, um importante parâmetro para compreender a história de vida de uma galáxia é o seu tipo de bojo. O bojo é a região central de uma galáxia, que geralmente contém uma alta concentração de estrelas. A natureza do bojo de uma galáxia pode fornecer *insights* cruciais sobre sua evolução e formação.

Existem dois tipos principais de bojos que são amplamente estudados na astronomia extragaláctica (Fisher e Drory, 2016):

1. Bojos Clássicos: Os bojos clássicos são caracterizados por sua forma esferoidal ou elipsoidal bem definida, se comparados a pequenas galáxias elípticas. Eles geralmente consistem em uma população de estrelas antigas e são frequentemente encontrados em galáxias elípticas ou em galáxias espirais de grande massa. Bojos clássicos são frequentemente considerados produtos da fusão de galáxias ou de intensas instabilidades em discos ricos em gás, que ocorrem em alto redshift. Ou seja, sua formação está associada a processos violentos e altamente dissipativos.

2. Pseudoboijos: Os pseudoboijos, por outro lado, têm uma aparência mais disforme, seu perfil de brilho é menos concentrado e frequentemente são acompanhados de estruturas espirais ou barras na morfologia de sua galáxia. Eles contêm uma mistura de estrelas jovens e antigas e são comuns em galáxias espirais. Os pseudoboijos podem se formar devido a processos seculares, como a formação de barras ou anéis, e seu histórico de evolução é mais calmo e menos violento. Sua presença pode estar relacionada à atividade de formação estelar contínua na galáxia hospedeira.

A distinção entre bojos clássicos e pseudoboijos é importante porque pode fornecer pistas sobre a história evolutiva de uma galáxia: sabendo que bojos clássicos são formados por *major mergers*, em qualquer época da história do universo, ou de processos violentos em altos redshifts, portanto, pseudoboijos não podem evoluir para bojos clássicos secularmente.

1.2 Perfil de Sérsic

O perfil de Sérsic é uma ferramenta fundamental na análise de galáxias, oferecendo uma parametrização conveniente de seus perfis de brilho. Foi introduzido por José Luis Sérsic em 1963 e tem sido amplamente utilizado desde então para descrever e classificar a distribuição de luz em galáxias.

O perfil de Sérsic é dado por:

$$\log \left[\frac{I(r)}{I_e} \right] = -b_n \cdot \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right]$$

onde $I(r)$ é o brilho superficial a uma distância r do centro da galáxia; I_e é o brilho superficial no raio efetivo (r_e); n é o índice de Sérsic, que determina a forma do perfil de brilho e b_n é uma constante que depende de n ¹.

O índice de Sérsic, n , controla a forma do perfil de brilho. Com valores mais baixos de n correspondendo a perfis mais próximos de exponenciais (como galáxias de disco) e valores mais altos de n correspondendo a perfis mais concentrados (como galáxias elípticas ou bojos proeminentes).

A importância do perfil de Sérsic em nosso estudo está na sua capacidade de descrever e quantificar a distribuição de luz nas galáxias. O índice de Sérsic se relaciona com a morfologia da galáxia e com seu tipo de bojo. Sabemos que bojos clássicos costumam apresentar $n > 2$, enquanto os pseudobojos tendem a possuir $n < 2$ (Fisher e Drory, 2010). Porém, há um intervalo de sobreposição entre esses valores que nos impossibilita de usar o índice de Sérsic sozinho para classificar os diferentes tipos de bojo. Uma forma de contornar esse problema é, junto ao valor do índice de Sérsic, usarmos a razão Bojo/Total (B/T) que representa a fração da luminosidade total da galáxia atribuída ao bojo. Galáxias com valores de B/T menores que 30% e $n < 2$, em geral, possuem pseudobojo (Gao et al., 2018).

¹ b_n pode ser aproximado por $b_n \approx 1.999 \cdot n - 0.327$

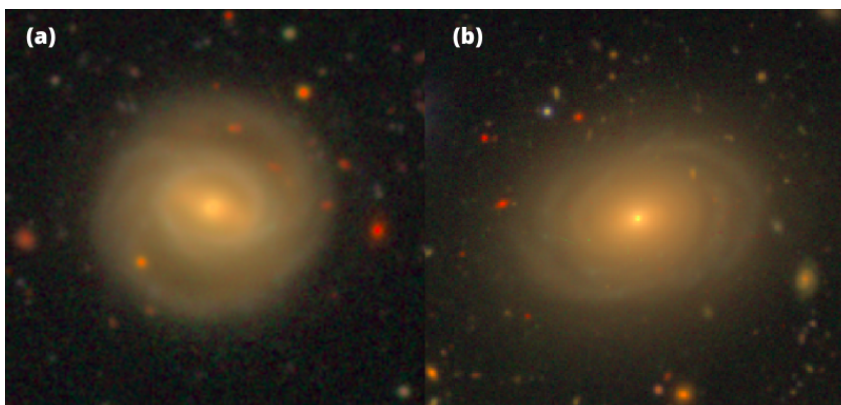


Figura 1.3 – Exemplos de galáxias do *Green Valley*: (a) pseudobojo e (b) bojo clássico. Imagens: *Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program*

1.3 Objetivos e estrutura do trabalho

Este trabalho teve como principal objetivo estudar a morfologia de galáxias *Star Forming* e galáxias do *Green Valley* e assim, através de uma análise comparativa, colocar vínculos sobre como essa transição deve acontecer e verificar a plausibilidade das hipóteses aqui testadas. Para isso, foi feita uma análise detalhada nas estruturas morfológicas dessas galáxias, e a partir disto, avaliamos e quantificamos as principais diferenças para estes dois grupos.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2 apresentamos a metodologia adotada em nossa pesquisa, assim como os dados utilizados. Posteriormente, no capítulo 3, exploramos nossos resultados e os discutimos no capítulo 4. Por fim, no capítulo 5, fechamos com nossas conclusões e perspectivas para futuros trabalhos. Para informações adicionais, o apêndice 6 contém tabelas com dados detalhados das amostras estudadas.

2 Metodologia

Neste capítulo, exploraremos detalhadamente a metodologia adotada em nossa pesquisa, abordando os critérios de seleção das amostras e os softwares essenciais utilizados em nossas análises de decomposição bojo-disco.

2.1 Dados e seleção das amostras

Nossa metodologia incluiu uma cuidadosa seleção de amostras para garantir que nossa análise fosse focada em objetos próximos e com alta resolução espacial, ao mesmo tempo em que considerávamos importantes fatores como a natureza central ou satélite das galáxias.

Fizemos uso de imagens profundas e de alta resolução, nas bandas g e r , obtidas com o Telescópio Subaru 8.2m, como parte do *Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program* (Aihara et al., 2022), com cobertura de aproximadamente 1200deg^2 em cinco bandas largas (*grizy*) e limites de magnitude de 26.2 na banda r e 26.6 na banda g . Já outros dados como massas estelares e taxas de formação estelar, foram obtidos do *GALEX-SDSS-WISE LEGACY CATALOG* (GSWLC-2) (Salim et al., 2016).

Classificamos as galáxias em três grupos de acordo com sua taxa de formação estelar, seguindo os critérios de Trussler et al. 2020 (figura 1.1).

Galáxias *Star Forming* são aquelas em que:

$$\log SFR(M_{\odot}/\text{ano}) \geq 0.70 \times \log M_*(M_{\odot}) - 7.52$$

Galáxias passivas possuem:

$$\log SFR \leq 0.70 \times \log M_* - 8.02$$

Galáxias do *Green Valley* se encontram entre esses dois grupos:

$$0.70 \times \log M_* - 7.52 > \log SFR > 0.70 \times \log M_* - 8.02$$

Também fizemos um corte no intervalo de *redshift* (z) pois, dentre nossos objetivos, estava analisar somente objetos com alta resolução espacial. Para isso, estabelecemos um limite inferior de $z = 0.02$ e um limite superior de $z = 0.05$.

Outro importante passo em nossa seleção de amostras foi a distinção entre galáxias centrais e satélites. Optamos por excluir galáxias satélites de nossa análise devido aos múltiplos efeitos ambientais que podem sofrer. Para isso, utilizamos o catálogo de galáxias de Lim et al. (2017), que categorizou as galáxias em centrais e satélites. Como resultado, nossa amostra consiste apenas de galáxias centrais, garantindo assim a consistência em nossa análise.

Com uma amostra inicial de 58 galáxias do *Green Valley* selecionadas, o próximo passo foi a criação de amostras de controle a partir do grupo das *Star Forming*. Formamos duas amostras de controle utilizando um código de pareamento desenvolvido em linguagem de programação **R**. Esse código utiliza a técnica *Propensity Score Matching* (PSM) (De Souza et al., 2016) através do pacote *MatchIt* (Stuart et al., 2011). A primeira amostra foi pareada em massa, *redshift*, dispersão de velocidades e concentração, enquanto que a segunda amostra foi pareada apenas em massa e *redshift*. Ao final desse processo, obtivemos três amostras, cada uma composta por 58 galáxias, permitindo uma análise comparativa mais robusta em nosso estudo. A figura 2.1 mostra três galáxias representativas de cada amostra.

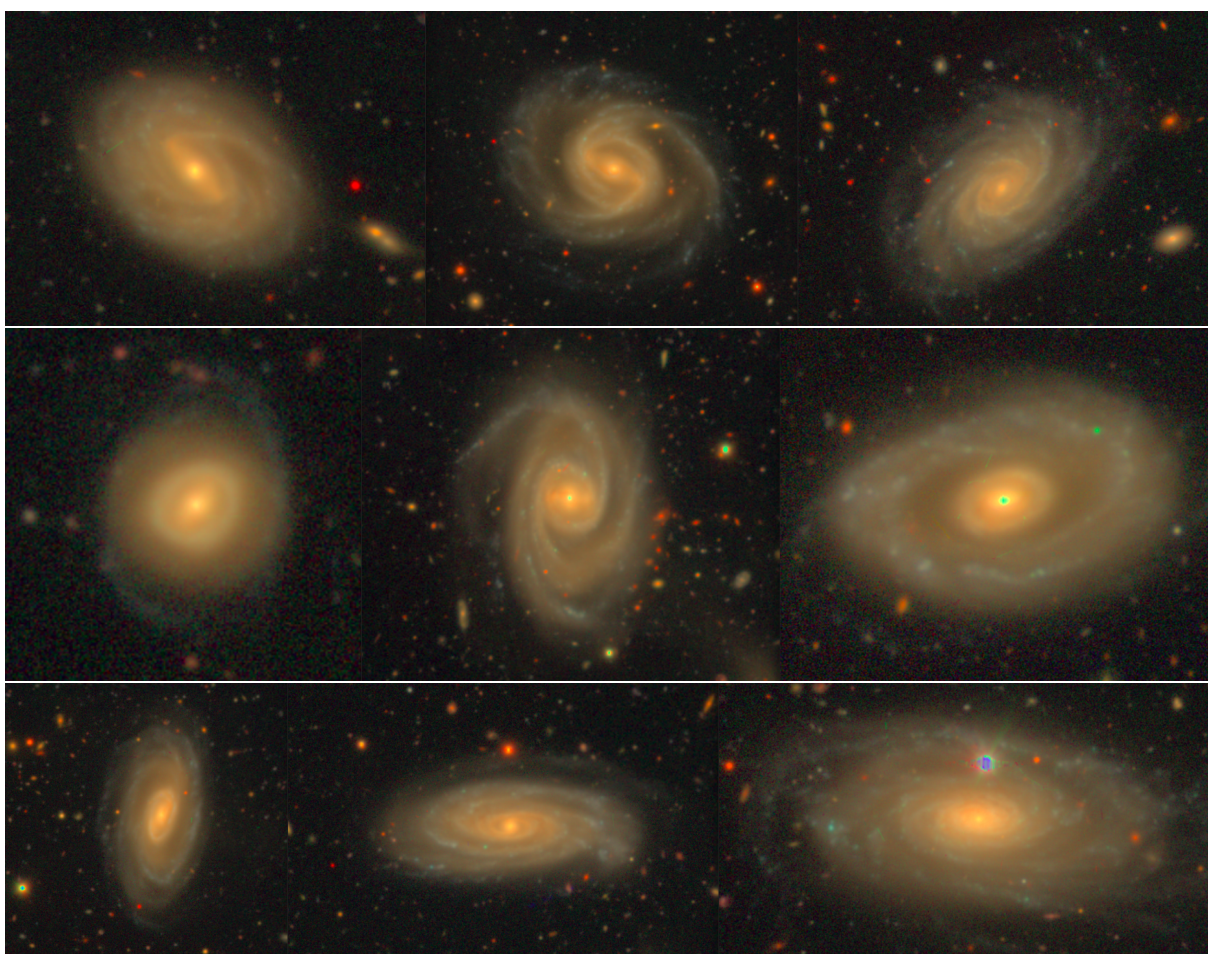


Figura 2.1 – Exemplos de galáxias do *Green Valley* à esquerda; galáxias *Star Forming* pareadas em massa e *redshift* ao centro; galáxias *Star Forming* pareadas em dispersão de velocidades, concentração, massa e *redshift* à direita. Imagens: *Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program*.

2.2 Decomposição bojo-disco

Para cada uma das três amostras analisadas, realizamos decomposições bojo-disco usando o software IMFIT (Erwin, 2015). O IMFIT é uma ferramenta especializada no ajuste de perfis de brilho de galáxias, e utiliza o Método de Mínimos Quadrados para encontrar o modelo que melhor reproduz as observações. O perfil de brilho do modelo é uma combinação de diferentes funções, onde o número de funções e sua forma são definidas pelo usuário.

Nossas decomposições foram conduzidas ajustando imagens de galáxias usando duas componentes Sérsic bidimensionais, uma para representar o disco (com índice de Sérsic $n = 1$) e outra para representar o bojo (com n livre). A partir dos ajustes feitos, obtivemos mapas residuais e outros arquivos de saída do IMFIT contendo os melhores parâmetros para cada galáxia, incluindo o índice de Sérsic para o bojo, os raios efetivos do bojo e do disco, elipticidade, ângulo de posição, intensidades nos raios efetivos e a fração de luminosidade atribuída ao bojo de cada galáxia (frações B/T). Organizamos alguns destes dados nas tabelas 3, 4 e 5.

Os mapas de resíduos foram analisados para identificar a presença de estruturas como barras, anéis, braços espirais, entre outros. A identificação de estruturas significativas nos dados, contribuiu para uma análise mais detalhada da morfologia de cada galáxia estudada. As figuras 2.2, 2.3 e 2.4 mostram alguns exemplos de galáxias e seus respectivos modelos e mapas residuais para cada uma das três amostras.

Algumas das galáxias de nossa amostra possuem estrelas ou outras galáxias brilhantes em sua vizinhança. Com o intuito de aprimorar a precisão dos ajustes, utilizamos o SOURCEEXTRACTOR (Bertin e Arnouts, 1996), que é uma poderosa ferramenta de processamento de imagens amplamente empregada em astronomia para extrair informações precisas de imagens astronômicas. No contexto da nossa análise, utilizamos o SOURCEEXTRACTOR para identificar automaticamente objetos de fundo e de primeiro plano e criar uma máscara com base em suas posições. Essas máscaras desempenharam um papel fundamental na melhoria da qualidade dos ajustes realizados pelo IMFIT, ao remover objetos brilhantes próximos às galáxias em estudo. Isso evitou que a luz desses objetos afetasse o perfil de brilho das galáxias alvo. O processo de criação de máscaras envolve a detecção e segmentação dos objetos indesejados com base em critérios como intensidade e forma, permitindo que nossos ajustes se concentrassem exclusivamente na estrutura das galáxias de interesse, resultando em uma análise mais precisa e confiável.

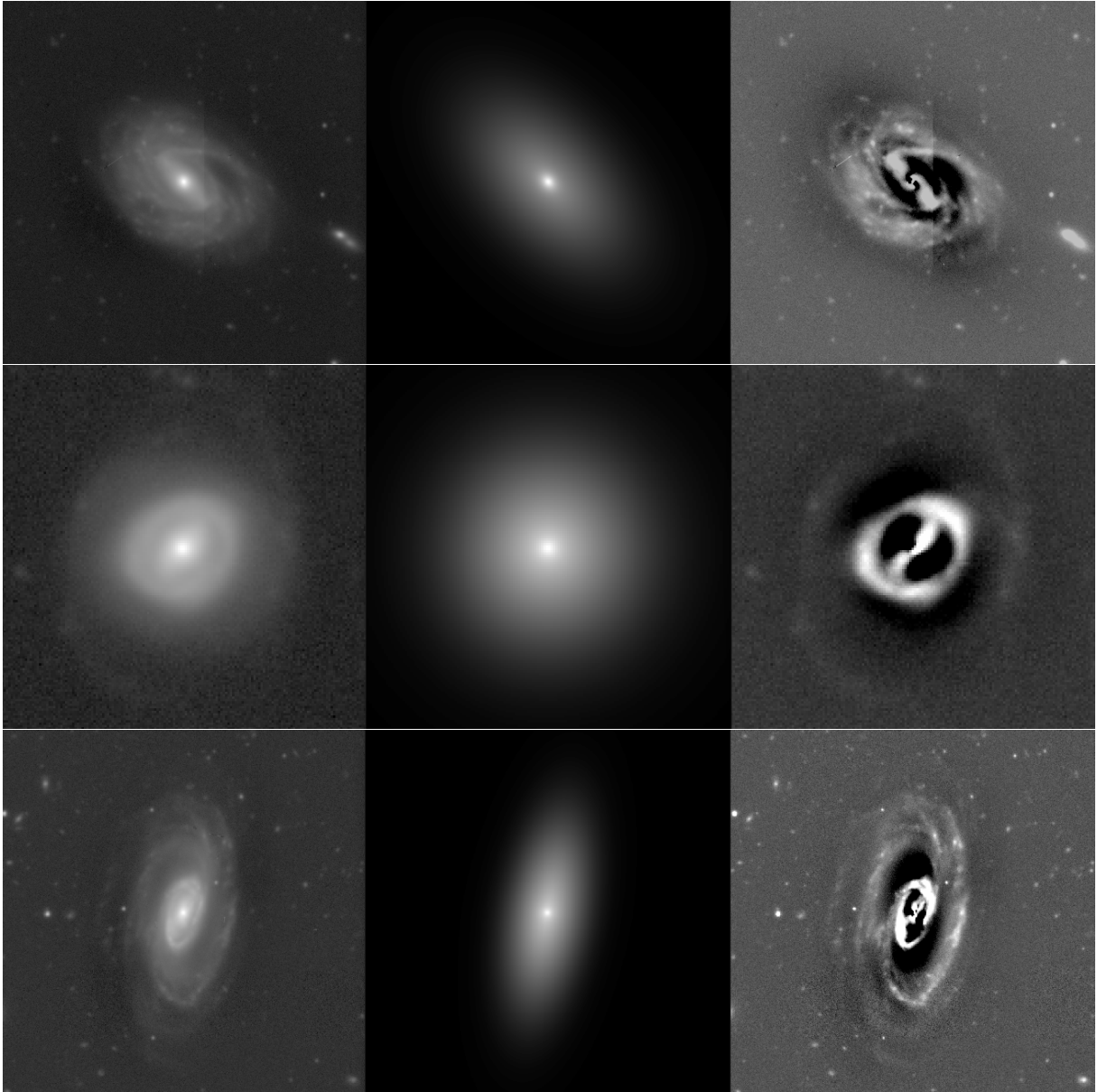


Figura 2.2 – Exemplos das decomposições bojo-disco em três galáxias do *Green Valley*. À esquerda temos as imagens das galáxias na banda r ; ao centro estão mostrados os modelos contruídos pelo IMFIT e à direita, temos os mapas residuais. A primeira galáxia descrevemos como uma espiral barrada; na segunda, os resíduos evidenciam a presença de um anel e uma barra; já para a terceira galáxia, vemos a presença de braços espirais, uma barra e anel.

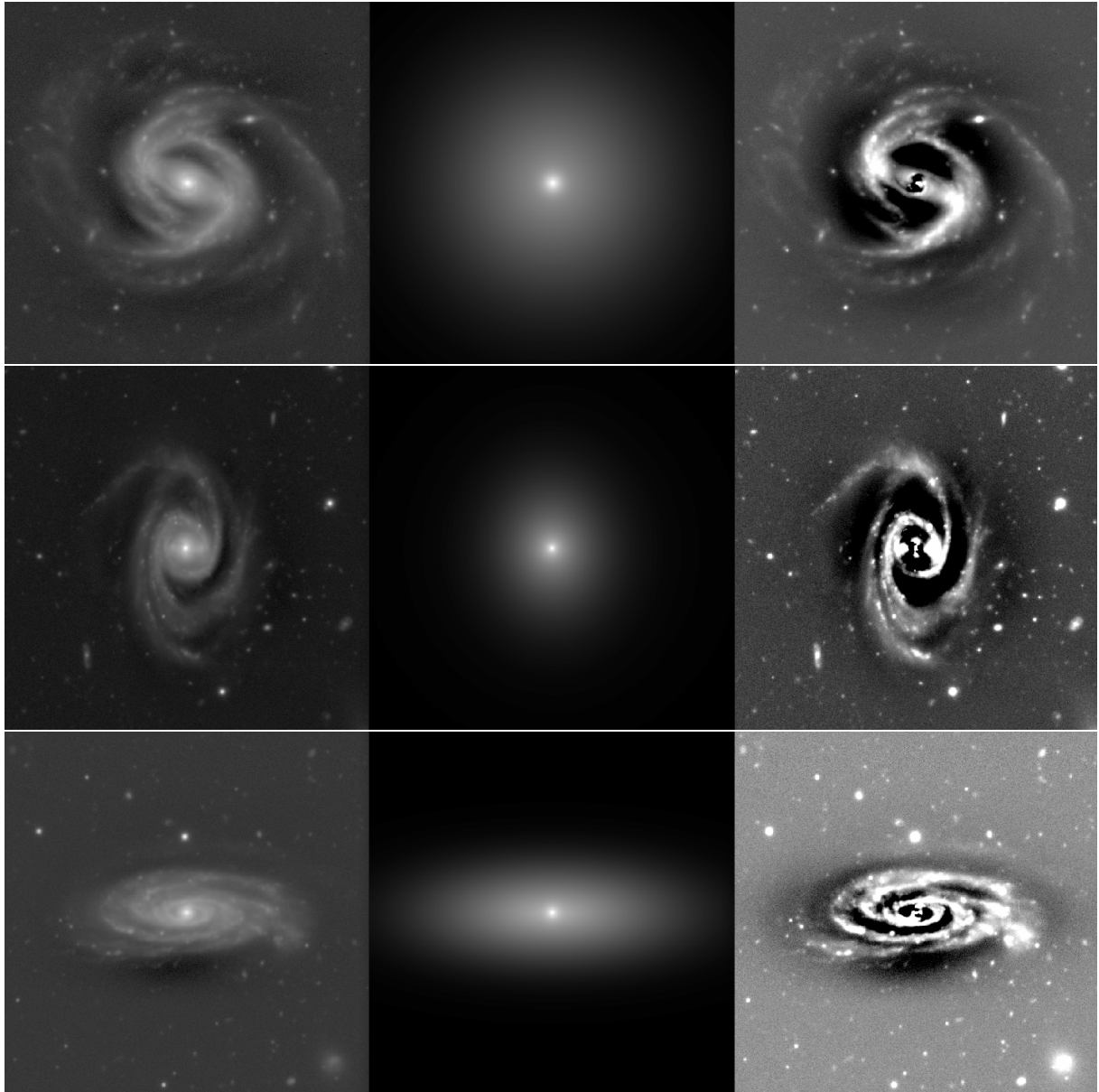


Figura 2.3 – Exemplos das decomposições bojo-disco em três galáxias *Star Forming* pareadas em massa e *redshift*. À esquerda temos as imagens das galáxias na banda *r*; ao centro estão mostrados os modelos contruídos pelo IMFIT e à direita, temos os mapas residuais. Para as duas primeiras galáxias deste exemplo, vemos a presença de braços espirais e barra; enquanto que para a terceira vemos seus braços espirais.

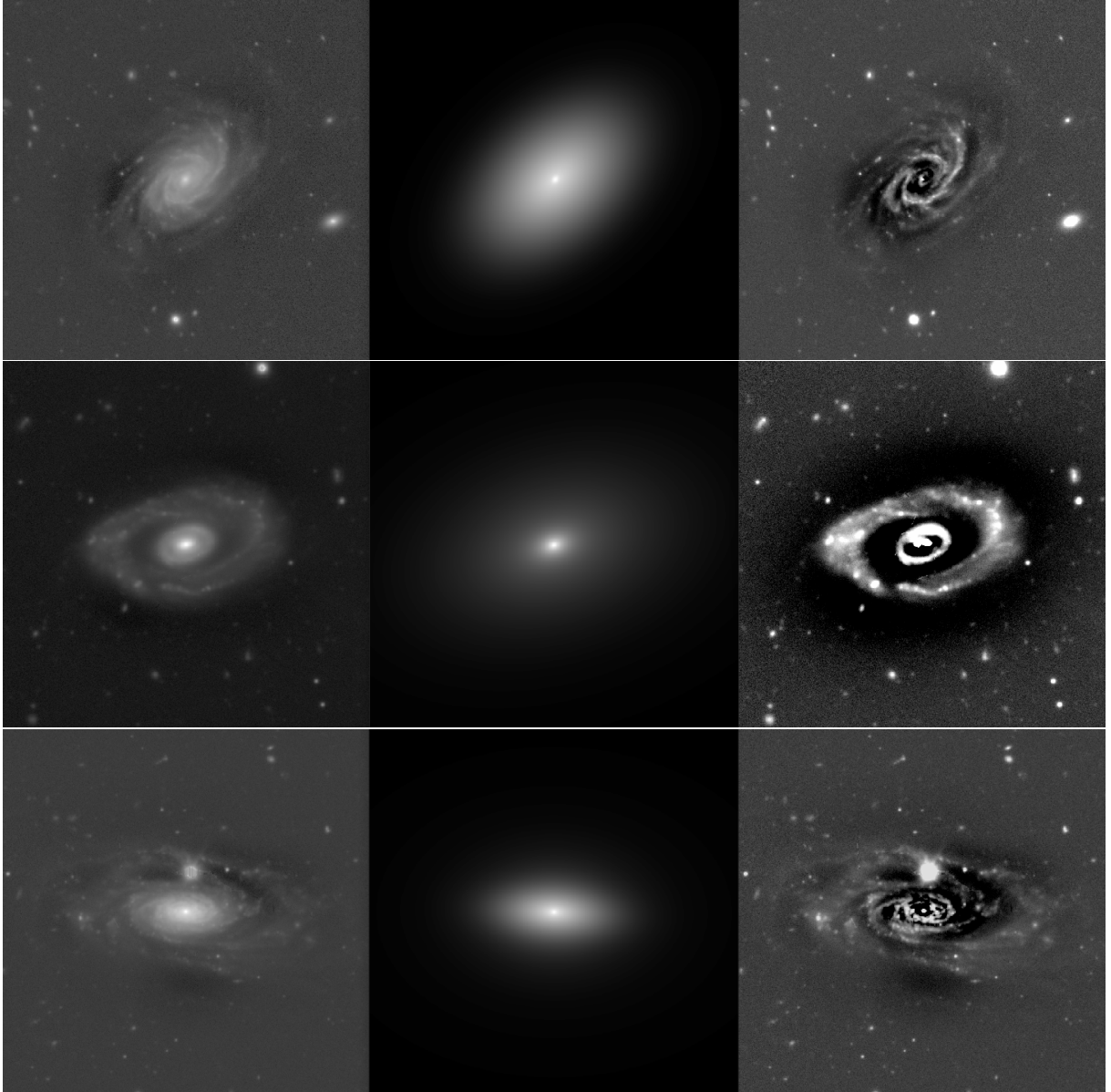


Figura 2.4 – Exemplos das decomposições bojo-disco em três galáxias *Star Forming* pareadas em dispersão de velocidades, concentração, massa e *redshift*. À esquerda temos as imagens das galáxias na banda *r*; ao centro estão mostrados os modelos contruídos pelo IMFIT e à direita, temos os mapas residuais. Na leitura dos resíduos destas galáxias, podemos ver que são espirais e, no caso da segunda galáxia, apresenta um anel.

3 Resultados

Em nossas análises, encontramos grandes diferenças entre a morfologia de galáxias do *Green Valley* e *Star Forming* pareadas pelos parâmetros morfológicos e com massas menores que $10^{10} M_{\odot}$. Diante dessa discrepância, decidimos excluir essas galáxias da amostra enquanto investigamos se essa diferença é real ou devido a algum viés introduzido pelos critérios de seleção da amostra. Desta forma, todos os resultados deste capítulo se referem a três amostras com 43 galáxias cada.

A figura 3.1 evidencia a distribuição das frações de luz do bojo para as amostras e os resultados dos testes Kolmogorov–Smirnov (teste KS) comparando as amostras. A amostra de *Star Forming* pareada apenas por massa e *redshift* apresenta um maior número de galáxias cujo bojo não contribui, ou contribui pouco, para a luminosidade total da galáxia. Porém, ainda assim, não vemos diferenças estatisticamente significativas entre cada par, quando comparados os *p-values*.

Os valores dos raios efetivos do bojo e do disco estão mostrados na figura 3.2. Não vemos grandes diferenças entre os raios efetivos dos discos das galáxias das três amostras. Já para os bojos, dado o pequeno tamanho das amostras, vemos que os valores para as galáxias *Star Forming* pareadas apenas por massa e *redshift* se aproximam mais dos valores da amostra do *Green Valley*.

Já na figura 3.3 temos os índices de Sérsic dos bojos para cada amostra. Um dos *p-values* nos mostra grande diferença entre as amostras pareadas por massa e *redshift*. Mais uma vez, a amostra de *Star Forming* pareada apenas por massa e *redshift* apresenta uma maior discrepância, tendo um maior número de galáxias cujo bojo possui $n \leq 1.5$. Enquanto o *Green Valley* mostra um excesso de galáxias com $1 \leq n_{\text{bojo}} \leq 3$. A amostra pareada por parâmetros morfológicos não apresenta diferenças estatisticamente significativas quando comparada ao *Green Valley*.

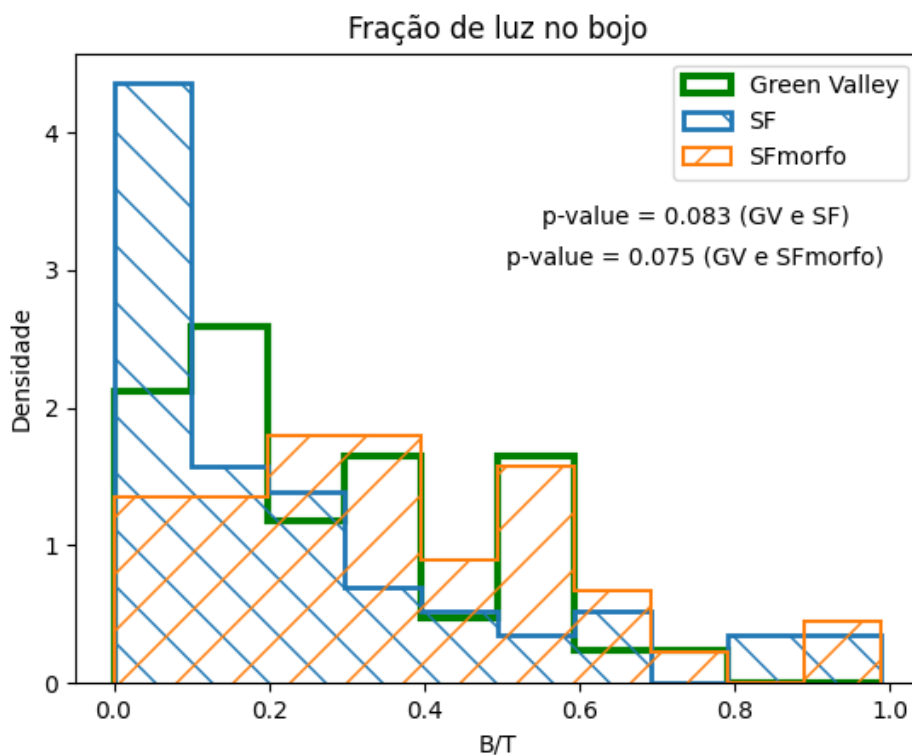


Figura 3.1 – Frações B/T (bojo/total), referenciando o percentual de luz atribuído ao bojo, quando comparado à luminosidade total da galáxia. Na legenda, *SF* se refere às galáxias pareadas com a amostra do *Green Valley* em massa e *redshift*; enquanto que *SFmorfo* é a pareada em massa, *redshift*, dispersão de velocidades e concentração. *P-values* obtidos por testes KS

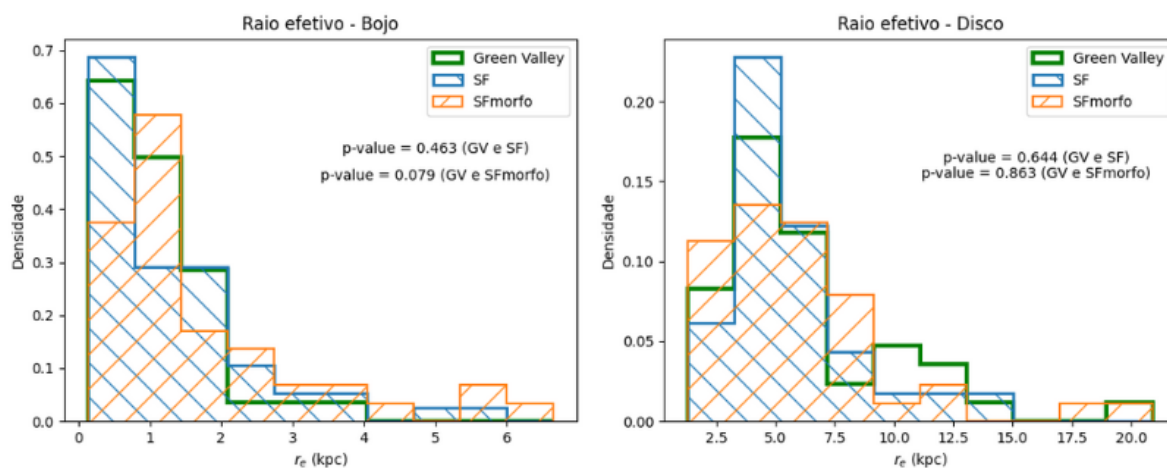


Figura 3.2 – No histograma à esquerda, vemos a distribuição dos valores de Raio Efetivo dos bojes em nossas amostras; à direita, são referentes aos raios efetivos dos discos das galáxias. *P-values* obtidos por testes KS

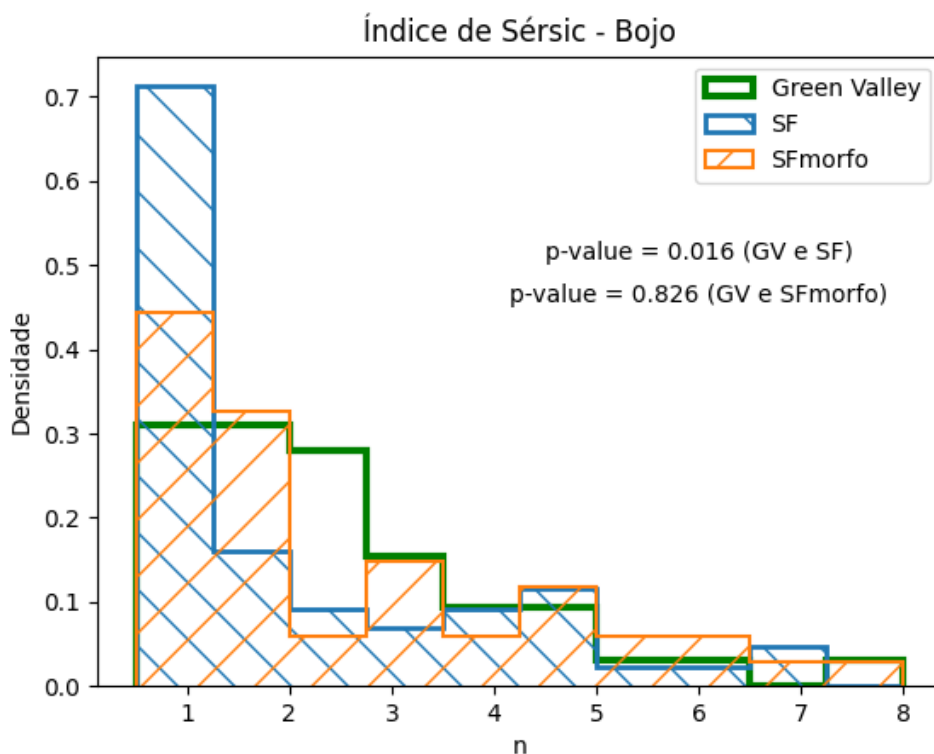


Figura 3.3 – Distribuição dos índices de Sérsic para as três amostras estudadas. Onde *SF* se refere às galáxias pareadas com a amostra do *Green Valley* em massa e *redshift*; enquanto que *SFmorfo* é a pareada em massa, *redshift*, dispersão de velocidades e concentração. *P-values* obtidos por testes KS

3.1 Lopsidedness

Algo inesperado que encontramos em nossas análises foi a presença significativa de galáxias *lopsided* na amostra de galáxias *Star Forming* pareadas apenas por massa e *redshift*. Essas são galáxias cujos discos apresentam assimetrias devido a acreção de gás frio, *major mergers* e/ou instabilidades em larga escala (Bail et al., 2023), como mostrado na figura 3.4. Identificamos 25 galáxias *lopsided* na amostra inicial de 58 galáxias, e 20 na amostra de 43 galáxias (após o corte em massa).

Esse resultado ressalta que o pareamento de galáxias com base apenas em critérios de massa e *redshift* não garante morfologias semelhantes. Portanto, nossa abordagem de pareamento usando parâmetros como dispersão de velocidades central e concentração se revelou mais confiável para obter galáxias com morfologias comparáveis. Isto nos abre perspectivas para pesquisas futuras, nas quais buscaremos aprofundar nossa compreensão desse fenômeno e suas implicações.

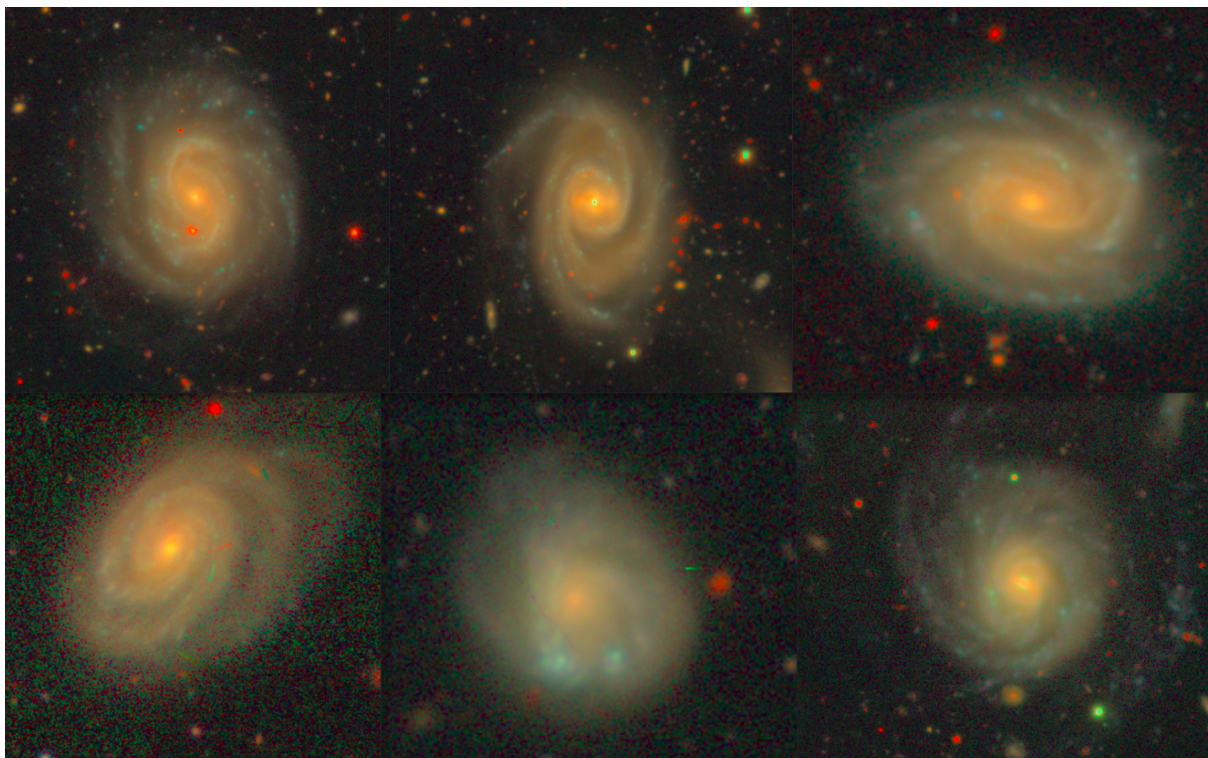


Figura 3.4 – Algumas das galáxias *lopsided* encontradas na amostra de *Star Forming* pareadas em massa e *redshift*. Imagens: *Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program*.

3.2 Estruturas morfológicas

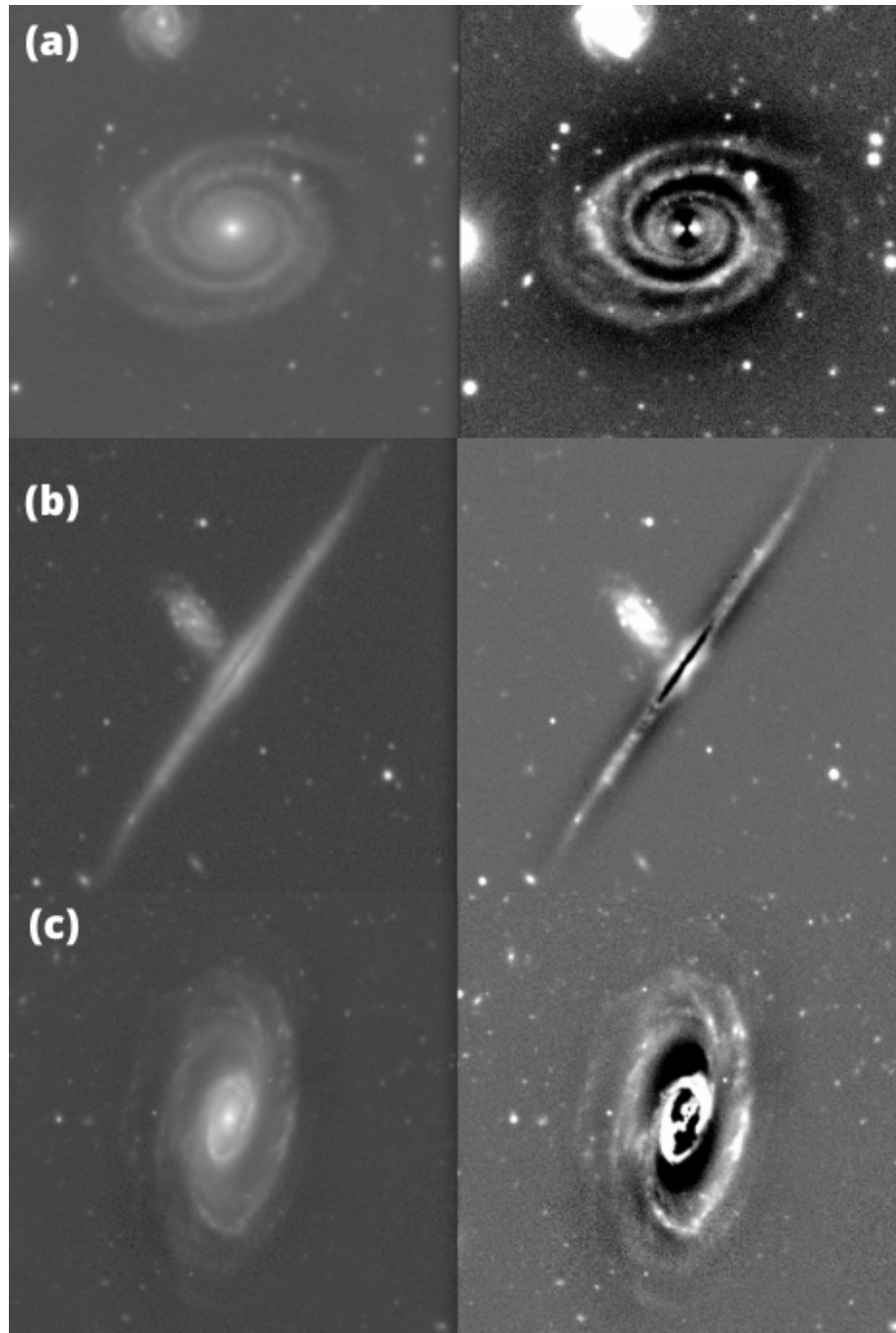
A tabela 1 mostra um quantitativo de estruturas como braços espirais, anéis, barra, galáxias *lopsided* e galáxias cujo mapa residual não era claro o suficiente para identificar a forma estrutural da galáxia (*unclear*). Neste comparativo, não vimos diferenças estatisticamente significativas entre as amostras, exceto pela presença de galáxias *lopsided* (descritas na subseção 3.1). A figura 3.5 mostra exemplos dessas estruturas em mapas residuais e a tabela 2 contém os resultados estatísticos do Teste Exato de Fisher e ressaltados, em negrito, resultados estatisticamente significativos.

Amostra	Braços espirais	Barra	Anel	Lopsided	Unclear
GV	31	14	17	0	6
SFmorfo	28	12	15	0	8
SF	38	18	9	20	3

Tabela 1 – Comparativo da presença de estruturas significativas entre as três amostras

Amostras	Braços espirais	Barra	Anel	Lopsided	Unclear
GV e SF	$p\text{-value} = 0.103$	0.504	0.099	0.00001	0.48
GV e SFmorfo	$p\text{-value} = 0.643$	0.815	0.824	1	0.77

Tabela 2 – Resultados do teste exato de Fisher.

Figura 3.5 – Exemplos de galáxias do *Green Valley* na banda G e seus resíduos: (a) braços espirais, (b) *unclear*, (c) anel, barra e braços espirais.

4 Discussão

Em nossas análises, encontramos diversas diferenças entre a amostra de galáxias *Star Forming* pareadas apenas em massa e *redshift* com a amostra do *Green Valley*. A mais significativa delas foi a diferença entre os índices de Sérsic dos bojos dessas galáxias. Sabemos que para $n_{\text{bojo}} < 2$, o bojo tem grandes chances de ser um pseudobojo (Fisher e Drory, 2010), porém, devido a um intervalo de sobreposição, não podemos classificar o tipo de bojo apenas pelo seu valor de n . Uma forma de contornar o problema causado por esse *overlap* é usar um critério adicional baseado na fração bojo/total da galáxia, pois além dos valores abaixo de 2 para o índice de Sérsic, sabemos que, em geral, pseudobojos apresentam $B/T < 0.3$ (Gao et al., 2018). Juntando esses dois critérios, figura 4.1, vimos que a amostra pareada apenas em massa e *redshift* apresenta um número levemente maior de pseudobojos, quando comparada ao *Green Valley*.

Dadas as diferenças discutidas entre as amostras do *Green Valley* e de galáxias *Star Forming* pareadas apenas em massa e *redshift*, com o intuito de entender quais dessas diferenças se relacionam à morfologia e quais são devido à influência da queda na taxa de formação estelar, foi feito o pareamento por mais dois parâmetros (concentração e dispersão de velocidades central). Assim, como vimos que as diferenças mais significativas desapareceram, podemos acreditar que o que causa tais diferenças é algo relacionado à estrutura das galáxias, e não apenas à queda de sua taxa de formação estelar.

Vimos que os parecidos *p-values* das frações B/T entre os pares de amostras (figura 3.1) não nos dá grandes informações, porém, quando comparado em conjunto aos índices de Sérsic, começam a aparecer diferenças mais significativas entre as amostras. Nossos resultados nestes parâmetros, nos levam a inferir que nossa amostra de galáxias *Star Forming* pareadas apenas em massa e *redshift* apresenta uma sutil diferença no tipo de bojo da maior parte da amostra do *Green Valley*, enquanto que o pareamento por parâmetros morfológicos quase que iguala a amostra de *Star Forming* pareada em massa, *redshift*, dispersão de velocidades e concentração da amostra do *Green Valley*.

Quanto aos valores de raio efetivo do bojo, não vimos diferenças significativas entre as amostras. Contudo, estudos anteriores (Erwin et al., 2021) argumentaram que altos valores de raio efetivo do bojo ($r_e \geq 2kpc$), na decomposição bojo-disco, frequentemente são um indício de problemas no ajuste devido à presença de barras ou outras componentes que não foram bem modeladas e acabam sendo ajustadas junto ao bojo. Isto resulta em um valor maior que o real para o raio efetivo do bojo em questão.

De uma forma geral, vimos que o pareamento por parâmetros morfológicos, como dispersão de velocidades central e concentração, nos mostrou que as diferenças entre os grupos *Star Forming* e *Green Valley* são causadas preferencialmente pela diferença de morfologia das galáxias, e não apenas por suas diferentes taxas de formação estelar. Isto

nos aponta que a amostra de galáxias *Star Forming* pareadas apenas em massa e *redshift* pode não ser representativa do grupo de galáxias que transicionam ao *Green Valley*, nos levando a considerar que certas características morfológicas aumentam as chances da galáxia passar por um processo de *quenching*. Um outro importante aspecto implicado por essas diferenças é que, sabendo que bojos clássicos e pseudobojo possuem diferentes origens, o possível excesso de bojos clássicos no *Green Valley* esteja relacionado a processos violentos em *redshifts* mais altos trazerem uma maior probabilidade da galáxia transicionar ao *Green Valley*.

Outro ponto explorado em nosso trabalho foi a prevalência de estruturas morfológicas em nossas amostras. Estudos anteriores apontaram que o *Green Valley* teria uma maior fração de anéis (Kelvin et al., 2018) e de barras (Cheung et al., 2013) em suas galáxias. Erwin (2018) apontou que imagens do *Sloan Digital Sky Survey* possuem uma baixa resolução e por isso fica fácil de perder estruturas como barras em galáxias de menor massa, já que o comprimento da barra é correlacionado com a massa da galáxia. Neste trabalho, usamos imagens profundas e de alta resolução do telescópio Subaru, através do *Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program*. Com isso, foi possível garantir que não perderíamos por resolução e concluímos que não há diferenças estatisticamente significativas nas frações de barras, anéis ou braços espirais em nossas três amostras.

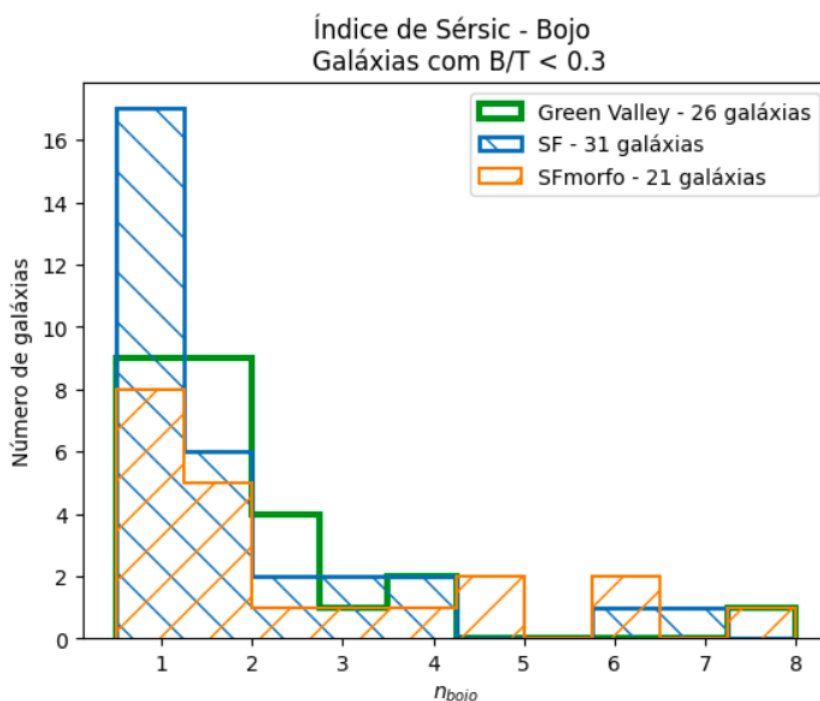


Figura 4.1 – Distribuição dos índices de Sérsic do bojo para galáxias com frações bojo/total menores que 0.3

5 Conclusão

Vimos que uma boa estratégia para estudar o *Green Valley* e colocar vínculos sobre como o processo de *quenching* deve ocorrer é usar uma amostra de controle pareada em parâmetros morfológicos, como dispersão de velocidades central e concentração. Não encontramos diferenças estatisticamente significativas na prevalência de barras e anéis entre nossas três amostras. E encontramos um número significativo de galáxias *lopsided* na amostra de galáxias *Star Forming* pareadas por massa e *redshift*, o que não se vê nas demais amostras.

5.1 Perspectivas

Como perspectiva para trabalhos futuros, iremos replicar nossas análises a uma amostra maior e garantir um maior poder estatístico para comparação entre estes grupos, além de incluir o grupo de galáxias passivas. Classificaremos os diferentes tipos de bojos usando relações de escala para nossas amostras, como em Gao et al. (2018). E testaremos novamente, agora com uma amostra maior, se existem diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de bojos em cada grupo. Quanto aos baixos (mas não significativos) *p-values* que encontramos, entre 0.07 e 0.08, iremos analisar com uma amostra maior se são reais ou flutuações estatísticas. Além disso, exploraremos as diferenças em galáxias do *Green Valley* e *Star Forming* para massas menores que $10^{10} M_{\odot}$.

Referências

- Aihara, H., AlSayyad, Y., Ando, M., Armstrong, R., Bosch, J., Egami, E., Furusawa, H., Furusawa, J., Harasawa, S., Harikane, Y., et al. (2022). Third data release of the hyper supprime-cam subaru strategic program. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 74(2):247–272.
- Bail, A. L., Daddi, E., Elbaz, D., Dickinson, M., Giavalisco, M., Magnelli, B., Gómez-Guijarro, C., Kalita, B. S., Koekemoer, A. M., Holwerda, B. W., et al. (2023). Jwst/ceers sheds light on dusty star-forming galaxies: Forming bulges, lopsidedness and outside-in quenching at cosmic noon. *arXiv preprint arXiv:2307.07599*.
- Bertin, E. e Arnouts, S. (1996). SExtractor: Software for source extraction. , 117:393–404.
- Cheung, E., Athanassoula, E., Masters, K. L., Nichol, R. C., Bosma, A., Bell, E. F., Faber, S., Koo, D. C., Lintott, C., Melvin, T., et al. (2013). Galaxy zoo: observing secular evolution through bars. *The Astrophysical Journal*, 779(2):162.
- De Souza, R., Dantas, M., Krone-Martins, A., Cameron, E., Coelho, P., Hattab, M., de Val-Borro, M., Hilbe, J. M., Elliott, J., Hagen, A., et al. (2016). Is the cluster environment quenching the seyfert activity in elliptical and spiral galaxies? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 461(2):2115–2125.
- Erwin, P. (2015). IMFIT: A Fast, Flexible New Program for Astronomical Image Fitting. , 799(2):226.
- Erwin, P. (2018). The dependence of bar frequency on galaxy mass, colour, and gas content—and angular resolution—in the local universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 474(4):5372–5392.
- Erwin, P., Seth, A., Debattista, V. P., Seidel, M., Mehrgan, K., Thomas, J., Saglia, R., de Lorenzo-Cáceres, A., Maciejewski, W., Fabricius, M., et al. (2021). Composite bulges—ii. classical bulges and nuclear discs in barred galaxies: the contrasting cases of ngc 4608 and ngc 4643. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 502(2):2446–2473.
- Fisher, D. B. e Drory, N. (2010). BULGES OF NEARBY GALAXIES WITHiSPITZER/i: SCALING RELATIONS IN PSEUDOBULGES AND CLASSICAL BULGES. *The Astrophysical Journal*, 716(2):942–969.
- Fisher, D. B. e Drory, N. (2016). An observational guide to identifying pseudobulges and classical bulges in disc galaxies. *Galactic Bulges*, páginas 41–75.

- Gao, H., Ho, L. C., Barth, A. J., e Li, Z.-Y. (2018). The carnegie-irvine galaxy survey. vii. constraints on the origin of s0 galaxies from their photometric structure. *The Astrophysical Journal*, 862(2):100.
- Kelvin, L. S., Bremer, M. N., Phillipps, S., James, P. A., Davies, L. J., De Propris, R., Moffett, A. J., Percival, S. M., Baldry, I. K., Collins, C. A., et al. (2018). Galaxy and mass assembly (gama): variation in galaxy structure across the green valley. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 477(3):4116–4130.
- Lim, S., Mo, H., Lu, Y., Wang, H., e Yang, X. (2017). Galaxy groups in the low-redshift universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 470(3):2982–3005.
- Salim, S., Lee, J. C., Janowiecki, S., Da Cunha, E., Dickinson, M., Boquien, M., Burgarella, D., Salzer, J. J., e Charlot, S. (2016). Galex–sdss–wise legacy catalog (gswlc): Star formation rates, stellar masses, and dust attenuations of 700,000 low-redshift galaxies. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 227(1):2.
- Stuart, E. A., King, G., Imai, K., e Ho, D. (2011). Matchit: nonparametric preprocessing for parametric causal inference. *Journal of statistical software*.
- Trussler, J., Maiolino, R., Maraston, C., Peng, Y., Thomas, D., Goddard, D., e Lian, J. (2020). Both starvation and outflows drive galaxy quenching. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 491(4):5406–5434.

6 Apêndice

<i>Green Valley</i>							
Galáxia	LogM (M_{\odot})	B/T	N_{bojo}	Galáxia	LogM (M_{\odot})	B/T	N_{bojo}
2	10.327	0.14	4.09	31	10.781	0.56	2.72
3	11.183	0.29	1.87	32	10.924	0.14	0.86
4	11.137	0.46	2.43	33	10.916	0.78	5.80
5	10.525	0.17	1.30	34	10.910	0.09	1.67
6	10.476	0.26	1.61	35	10.823	0.28	2.72
7	10.639	0.13	1.43	36	10.793	0.21	4.19
8	10.266	0.02	0.5	37	10.713	0.31	2.84
9	10.994	0.22	1.58	38	10.687	0.39	2.52
10	10.506	0.53	4.81	39	10.642	0.33	2.35
11	10.886	0.06	1.65	40	10.625	0.64	3.16
12	9.879	0.35	6.61	41	10.493	0.24	1.01
13	10.513	0.56	5.07	42	10.433	0.15	0.66
14	10.501	0.42	3.49	43	10.394	0.03	0.55
15	9.978	0.52	2.46	44	10.381	0.06	0.50
16	9.834	0.52	2.83	45	10.379	0.36	3.79
17	9.357	0.02	0.84	46	10.340	0.01	1.26
18	10.478	0.11	2.19	47	10.333	0.38	1.27
19	11.182	0.08	0.91	48	10.294	0.15	7.85
20	10.869	0.13	3.01	49	10.206	0.14	2.01
21	10.095	0.35	2.08	50	10.183	0.52	0.51
22	11.158	0.58	3.02	51	10.040	0.03	1.05
23	10.030	0.11	2.19	52	9.883	0.60	5.54
24	11.178	0.16	1.28	53	9.780	0.59	2.62
25	9.571	0.64	1.17	54	9.754	0.47	1.38
26	9.859	0.15	1.12	55	9.752	0.43	1.96
27	10.367	0.52	4.96	56	9.607	0.60	5.15
28	9.915	0.09	0.95	57	9.527	0.01	4.39
29	10.325	0.57	4.45	58	9.371	0.48	1.32
30	10.106	0.02	0.55	59	9.345	0.10	0.51

Tabela 3 – *Green Valley*: massas, frações bojo/total e índices de Sérsic para os bojos

<i>Star Forming</i> pareadas em massa e <i>redshift</i>							
Galáxia	LogM (M_{\odot})	N_{bojo}	B/T	Galáxia	LogM (M_{\odot})	N_{bojo}	B/T
2	10.627	1.13	0.05	31	10.752	1.39	0.13
3	10.31	0.50	0.35	32	9.75	6.91	0.58
4	10.306	0.50	0.0	33	10.47	0.59	0.041
5	10.376	0.90	0.03	34	10.851	1.03	0.055
6	11.002	3.93	0.2961	35	10.853	1.46	0.10
7	10.332	1.17	0.01	36	10.12	0.79	0.013
8	11.271	1.33	0.15	37	10.886	0.72	0.17
9	9.884	0.72	0.0	38	10.384	2.45	0.075
10	9.589	0.86	0.03	39	9.387	0.50	0.79
11	10.413	0.66	0.026	40	9.775	0.50	0.002
12	10.968	3.68	0.98	41	11.088	7.10	0.23
13	9.376	0.50	0.26	42	10.798	2.30	0.34
14	10.192	3.03	0.25	43	10.496	1.88	0.29
15	10.099	5.01	0.35	44	10.429	4.13	0.408
16	10.362	5.91	0.16	45	9.354	1.05	0.55
17	10.192	3.12	0.27	46	9.846	4.97	0.007
18	10.674	3.82	0.07	47	10.03	0.87	0.019
19	9.756	0.50	0.05	48	9.538	4.87	0.93
20	10.656	0.67	0.06	49	9.603	0.822	0.018
21	10.007	0.88	0.68	50	10.329	0.722	0.086
22	10.892	1.27	0.31	51	11.179	1.089	0.091
23	9.827	0.69	0.039	52	10.619	1.18	0.244
24	10.534	4.52	0.66	53	9.878	2.40	0.135
25	11.184	4.63	0.64	54	10.272	0.79	0.793
26	10.316	1.21	0.11	55	10.766	1.31	0.29
27	10.524	3.29	0.40	56	11.094	1.60	0.11
28	9.91	0.67	0.035	57	10.54	2.74	0.12
29	10.783	4.73	0.43	58	9.995	0.50	0.018
30	10.518	0.60	0.020	59	10.519	0.78	0.06

Tabela 4 – *Star Forming*: massas, frações bojo/total e índices de Sérsic para os bojos

<i>Star Forming</i> pareadas em dispersão de velocidades, concentração, massa e <i>redshift</i>							
Galáxia	LogM (M_{\odot})	N_{bojo}	B/T	Galáxia	LogM (M_{\odot})	N_{bojo}	B/T
2	10.72	0.63	0.02	31	10.04	2.39	0.58
3	11.03	4.43	0.6	32	10.44	2.16	0.13
4	11.0	5.0	0.24	33	10.48	4.73	0.23
5	10.43	0.81	0.02	34	10.96	5.7	0.5
6	9.72	1.71	0.52	35	10.1	0.62	0.36
7	10.27	1.95	0.58	36	9.19	2.49	0.23
8	9.36	1.3	0.7	37	10.03	0.51	0.0
9	10.61	3.56	0.28	38	10.04	3.28	0.53
10	10.49	1.06	0.89	39	10.38	6.66	0.47
11	10.85	1.84	0.19	40	10.21	1.32	0.23
12	10.6	0.5	0.21	41	10.46	8.0	0.0
13	9.69	0.98	0.18	42	10.83	5.81	0.18
14	10.22	0.5	0.72	43	9.84	1.05	0.26
15	10.43	0.5	0.16	44	10.94	3.14	0.3
16	10.18	0.65	0.31	45	10.34	1.91	0.67
17	9.83	1.45	0.03	46	9.72	0.5	0.03
18	9.82	0.8	0.53	47	10.81	4.28	0.38
19	10.31	3.45	0.37	48	11.09	5.87	0.19
20	11.27	3.39	0.36	49	10.03	1.74	0.6
21	10.04	1.05	0.25	50	10.42	0.52	0.12
22	9.68	1.91	0.0	51	11.02	1.97	0.3
23	10.97	3.61	0.98	52	10.14	1.02	0.5
24	10.73	1.47	0.08	53	9.59	1.42	0.24
25	9.66	0.5	0.45	54	9.76	0.5	0.26
26	11.13	2.75	0.45	55	10.71	0.53	0.37
27	10.37	0.76	0.4	56	10.22	5.69	0.41
28	10.72	0.54	0.07	57	9.87	0.5	0.26
29	10.42	1.98	0.56	58	11.12	1.45	0.29
30	10.64	1.4	0.34	59	10.77	1.44	0.59

Tabela 5 – *Star Forming*: massas, frações bojo/total e índices de Sérsic para os bojos

<i>Green Valley</i>					
Galáxia	RA	DEC	Galáxia	RA	DEC
2	228.29507	43.26173	31	213.775	-1.5568806
3	180.77121	5.1746917	32	242.48097	43.129166
4	224.52661	4.101013	33	189.81577	1.9540616
5	148.58926	4.091969	34	140.57335	4.7083335
6	192.17738	3.793352	35	202.20471	0.0495062
7	152.46336	3.5473523	36	172.7413	-1.1475191
8	167.7163	3.5328224	37	187.4571	2.5192137
9	173.58356	2.77376	38	135.88896	3.3758311
10	169.46173	2.5526628	39	143.66382	0.68807787
11	172.79544	2.475767	40	167.68085	1.2277448
12	175.63339	2.4697065	41	220.5887	3.270834
13	211.51038	1.7202476	42	152.97871	3.3754663
14	140.82788	1.5831004	43	158.19852	-0.20476028
15	211.17392	1.4613055	44	225.10172	3.5019598
16	162.83688	1.3854086	45	212.19794	1.317957
17	183.03839	1.3114884	46	232.67296	43.311768
18	180.14911	1.2062942	47	220.74268	0.26899034
19	162.45935	1.2046307	48	195.557	-1.7185019
20	197.01286	0.9599173	49	173.85199	2.2742164
21	178.00822	0.942225	50	190.23941	0.97161156
22	190.70676	0.024208356	51	199.2949	0.52755326
23	199.65314	-0.10640258	52	164.33472	1.8249236
24	163.59267	-0.3649684	53	151.13734	-0.41428623
25	180.03406	-0.66342103	54	217.7146	42.541313
26	191.3302	-0.7604491	55	225.8034	-0.93723613
27	169.619	-0.8316759	56	154.53133	-0.8160464
28	153.52525	-0.8325149	57	218.66017	3.187124
29	152.67122	-1.0212235	58	218.62088	3.3667235
30	198.18369	-1.1340348	59	151.80693	2.9025156

Tabela 6 – *Green Valley*: ascensão reta e declinação

<i>Star Forming</i> pareadas em massa e <i>redshift</i>					
Galáxia	RA	DEC	Galáxia	RA	DEC
2	186.1138	0.1528884	31	39.05822	-0.6977472
3	188.0927	0.01177507	32	33.52464	-0.2769779
4	134.6767	0.1914279	33	37.96833	-0.2798602
5	221.2509	1.408538	34	9.617195	0.1224429
6	194.9673	1.640354	35	39.66722	0.4842433
7	198.016	1.645566	36	354.8043	1.001491
8	165.1355	2.116063	37	21.20387	0.910013
9	158.8356	2.355814	38	154.9556	-1.022648
10	178.7137	2.95925	39	202.2088	-0.9084879
11	190.7836	2.91355	40	151.6999	-0.5036377
12	156.2551	3.224379	41	169.3871	-0.1875034
13	146.7147	2.382195	42	177.8811	-0.05101353
14	150.0338	2.765134	43	177.1359	0.2309105
15	154.5217	1.291936	44	178.4429	0.3296283
16	169.8492	1.809468	45	182.869	0.3786479
17	173.1541	1.820918	46	186.5602	0.2672043
18	167.0998	3.49796	47	190.747	0.6988003
19	130.5956	2.497325	48	157.3754	1.06003
20	246.5782	43.40746	49	220.8389	1.340907
21	0.03258375	-0.04058149	50	223.0619	1.923654
22	349.5653	0.2611612	51	222.4688	1.460522
23	3.176185	0.6733803	52	220.8427	1.098114
24	236.6002	43.28764	53	185.8253	1.486858
25	338.0302	0.03708465	54	173.0613	-1.738395
26	164.1904	3.719008	55	198.1111	-2.456801
27	150.9404	3.676335	56	210.5441	-0.2361961
28	177.9319	4.410198	57	223.3738	-0.2084237
29	190.8475	4.183793	58	151.684	1.129839
30	350.4659	-0.6907592	59	217.7573	1.242843

Tabela 7 – *Star Forming*: ascensão reta e declinação

<i>Star Forming</i> pareadas em dispersão de velocidades, concentração, massa e <i>redshift</i>					
Galáxia	RA	DEC	Galáxia	RA	DEC
2	234.99956	44.466003	31	151.4046	1.783208
3	226.43167	44.404957	32	222.52547	1.7154646
4	214.79382	44.137695	33	146.9174	1.6001407
5	248.63948	43.92203	34	170.36363	1.5311311
6	222.09552	43.70123	35	202.4375	1.182937
7	240.84186	42.87379	36	156.31317	0.8926275
8	233.78513	42.680286	37	150.61836	0.8012056
9	223.39737	42.44724	38	163.29866	0.6889828
10	177.74509	5.4336677	39	164.72034	0.6797027
11	177.61737	4.694937	40	133.53546	0.49856716
12	146.11234	4.499136	41	170.90112	0.3269642
13	158.65453	4.4320354	42	201.91458	0.3217377
14	191.17807	4.0699806	43	213.71118	0.3189595
15	169.81189	3.9642577	44	154.52782	0.09991805
16	167.66193	3.7554395	45	134.61916	0.023467436
17	218.84459	3.5732248	46	172.24345	-0.05844316
18	162.10837	3.3808978	47	211.27457	-0.064055786
19	153.8857	3.3694794	48	169.38707	-0.18750338
20	186.86505	3.3021066	49	149.45644	-0.2109434
21	154.62086	3.2903104	50	136.30496	-0.49658567
22	223.0652	3.24699	51	182.57445	-0.51789653
23	156.25507	3.2243788	52	160.63472	-0.69953656
24	168.78918	2.699008	53	215.17683	-0.7527036
25	169.48972	2.4727416	54	213.10356	-0.83200777
26	190.14594	2.4681416	55	212.61182	-0.83237237
27	225.12347	2.31409	56	225.27112	-1.0301383
28	223.62167	2.2877219	57	218.06244	-1.1729233
29	196.49223	1.7925332	58	221.70274	-1.958649
30	166.05489	1.7908152	59	198.11111	-2.456801

Tabela 8 – *Star Forming*: ascensão reta e declinação