

Dissertação de Mestrado

# **Análise da influência ambiental sobre galáxias de núcleo ativo usando o levantamento MaNGA**

**Thales Nunes Moreira**

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Sandro B. Rembold, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física da UFSM como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Física.

Santa Maria  
2017

# **Análise da influência ambiental sobre galáxias de núcleo ativo usando o levantamento MaNGA**

**por**

**Thales Nunes Moreira**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física da UFSM  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Física.

**Orientador: Prof. Dr. Sandro B. Rembold**

Santa Maria, RS, Brasil, 2017

---

©2017

Todos os direitos reservados a Thales Nunes Moreira.

A reprodução de parte ou do todo deste trabalho só poderá ser realizada com autorização por escrito do autor.

Endereço: Laboratório de Astrofísica e Eletrônica, Departamento de Física, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Faixa de Camobi, km 9, Santa Maria, RS, CEP 97105-900.

Telefone: +55(55)9-8469-6631

E-mail: [tnunesmoreira@hotmail.com](mailto:tnunesmoreira@hotmail.com)

---

Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Naturais e Exatas  
Programa de Pós-graduação em Física

# **Análise da influência ambiental sobre galáxias de núcleo ativo usando o levantamento MaNGA**

elaborado por

**Thales Nunes Moreira**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**MESTRE EM FÍSICA**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Sandro B. Rembold - Orientador, UFSM

---

Profa. Dra. Ana Chies Santos, UFRGS

---

Prof. Dr. Rogemar André Riffel, UFSM

**Santa Maria, julho de 2017.**

# Agradecimentos

- A Gabriele Ilha, pela indispensável colaboração.
- A todos os outros membros do Brazilian Participation Group do MaNGA, pelo afinho na obtenção de resultados.
- Aos meus amigos, pelo apoio moral nos piores momentos.
- Aos meus avós, por tudo.

# Resumo

Verificamos a dependência entre atividade nuclear em galáxias e o ambiente no qual as mesmas estão inseridas. Com base no levantamento MaNGA do Sloan Digital Sky Survey IV, analisamos a cinemática do gás de 62 galáxias com núcleos ativos juntamente com 109 galáxias de controle desprovidas de atividade nuclear, mas similares tanto morfologicamente quanto em massa estelar e redshift às galáxias ativas da nossa amostra. Os mapas de velocidades estelares e mapas de velocidades das linhas de emissão  $H\alpha$ ,  $H\beta$ ,  $[OIII]\lambda 5007$  e  $[NII]6583$ , bem como os fluxos dessas linhas, foram obtidos através do software GANDALF. Com o intuito de isolar as contribuições de movimentos radiais, os mapas de velocidade estelar foram usados para produzir modelos puramente rotacionais de disco fino com o software DiskFit. Os modelos foram então subtraídos dos mapas de velocidade das linhas de emissão, de forma que os resíduos representam as contribuições radiais do movimento. A contribuição de movimentos não circulares do gás para galáxias ativas e de controle foi confrontada com uma série de parâmetros que caracterizam o ambiente na qual cada galáxia está situada: a densidade ambiental local em quatro fatores de escala (1,5 Mpc, 3 Mpc, 6 Mpc e 10 Mpc), a riqueza do grupo ao qual a galáxia pertence, e a velocidade da galáxia no referencial do respectivo grupo. Encontramos uma dependência em geral muito baixa da intensidade de movimentos não circulares de gás nas galáxias da amostra com as propriedades ambientais. Essa baixa sensibilidade com o ambiente é similar entre AGNs e galáxias de controle, de forma que galáxias ativas e não ativas são, de forma geral, indistinguíveis frente aos movimentos radiais de gás. Analisando Strong AGNs separadamente, notamos alguma correlação positiva da presença de movimentos radiais de gás com a densidade ambiental, enquanto que nos Weak AGNs tais movimentos contribuem mais em regiões de baixa densidade. Porém, analisando apenas a região mais central das galáxias da amostra, essas correlações se tornam menos evidentes, sugerindo que apenas o gás periférico das galáxias da amostra seja diretamente afetado pelo ambiente. Nossos resultados sugerem que ou o excesso de movimentos não-circulares de gás em AGNs frente a galáxias não ativas é muito baixo, ou a fase ativa das galáxias ocorre em um período muito posterior a eventuais movimentos radiais de gás induzidos pelo ambiente.

**Palavras-chave:** galáxia, agn, ambiente, sdss, manga survey

# Abstract

We examined the dependency between nuclear activity in galaxies and the environment in which they are located. Using data from the MaNGA survey from the Sloan Digital Sky Survey IV, we analyzed the gas kinematics of 62 active galaxies, along with 109 galaxies from a control sample without nuclear activity, but otherwise similar to the sample of active galaxies with regard to morphology, stellar mass and redshift. The maps of stellar velocity and emission line velocity for  $H\alpha$ ,  $H\beta$ ,  $[OIII]\lambda 5007$  and  $[NII]\lambda 6583$ , as well as their fluxes, were obtained through the GANDALF software. With the purpose of isolating the contribution from radial motions, the stellar velocity maps were used to produce purely rotational models of thin disk with the DiskFit software. Those models were then subtracted from the emission line velocity maps, so that the residual maps represent the radial motion contribution. The contribution from non-circular gas motion both for active and control galaxies was compared with a series of parameters that characterize the environment in which each galaxy is located: the environmental luminous density in four scale factors (1,5 Mpc, 3 Mpc, 6 Mpc and 10 Mpc), the richness of the group to which it belongs, and the galaxy velocity in the frame of reference of its parent cluster. We have found mostly a very small dependence of the intensity of non-circular gas motions in the sample galaxies on the environmental properties. This low environmental sensitivity is similar for AGN and control galaxies, so that both active and non-active galaxies are, by and large, indistinguishable with regard to radial gas motions. Analyzing Strong AGN separately, we noted some positive correlation between the occurrence of radial gas motions with the environmental density, while for Weak AGN these motions are more important in low density regions. However, analyzing only the regions close to the center of the sample galaxies, these correlations become less evident, suggesting that only the peripheral gas of the sample galaxies is directly affected by the environment. Our results suggest that either the excess of non-circular gas motions in AGN as compared to non-active galaxies is very low, or the active phase of the galaxies occurs in a much later period than eventual environmentally driven radial gas motions.

**Keywords:** galaxy, agn, environment, sdss, manga survey

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>4</b>
1.1	AGNs	4
1.1.1	Modelo unificado	6
1.1.2	Diagramas diagnóstico	8
1.1.3	Efeitos ambientais em AGNs	10
1.2	Objetivos	15
<b>2</b>	<b>Instrumentação e dados</b>	<b>16</b>
2.1	O levantamento SDSS	16
2.2	O levantamento MaNGA	17
2.3	Amostra de galáxias	20
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>23</b>
3.1	GANDALF	23
3.2	Mapeamento cinemático e caracterização ambiental	24
3.2.1	DiskFit	25
3.2.2	Parâmetros ambientais	31
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>33</b>
4.1	Caracterização do Ambiente	33
4.2	Análise de correlação ambiental e cinemática	37
4.2.1	Strong AGN	41
4.2.2	Weak AGN	44
4.2.3	Cinemática da região central	47
4.3	Discussão	50
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>54</b>

# Lista de Figuras

1.1	Espectro de duas galáxias Seyfert . . . . .	5
1.2	Exemplo de galáxia LINER . . . . .	5
1.3	Ilustração do modelo unificado para AGNs . . . . .	7
1.4	Exemplo de diagrama BPT . . . . .	9
1.5	Exemplo de diagrama WHAN . . . . .	10
1.6	Fração de AGNs em função da dispersão de velocidade dos aglomerados . . . . .	12
2.1	Telescópio do SDSS . . . . .	16
2.2	Cobertura espacial do levantamento MaNGA . . . . .	18
2.3	Exemplo de IFU do MaNGA . . . . .	19
2.4	Diagramas diagnóstico de AGNs para o MPL-5 . . . . .	21
2.5	Exemplo de galáxia ativa da amostra e das galáxias de controle a ela associadas . . . . .	22
2.6	Histogramas da amostra de galáxias utilizada deste trabalho . . . . .	22
3.1	Mapas de velocidade com medidas fornecidas pelo GANDALF . . . . .	24
3.2	Mapas de velocidade e de resíduos, 1-148068 e controles . . . . .	28
3.3	Mapas de velocidade e de resíduos, 1-542318 e controles . . . . .	29
3.4	Mapas de velocidade e de resíduos, 1-279676 e controles . . . . .	30
4.1	Histograma de riqueza dos grupos . . . . .	33
4.2	Histograma de riqueza dos grupos das galáxias ativas, divididas em Strong AGN e Weak AGN . . . . .	34
4.3	Histogramas das densidades luminosas . . . . .	35
4.4	Histogramas das densidades luminosas para as galáxias ativas, divididas em Strong AGN e Weak AGN. . . . .	36
4.5	Excesso de velocidades em função da densidade, $H\alpha$ . . . . .	38
4.6	Excesso de velocidades em função da densidade, OIII . . . . .	39
4.7	Excesso de velocidades em função da densidade, NII . . . . .	39
4.8	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado. . . . .	40
4.9	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do módulo velocidade da galáxia no referencial . . . . .	40
4.10	Excesso de velocidades em função da densidade, $H\alpha$ , apenas para Strong AGN e controle associadas. . . . .	41
4.11	Excesso de velocidades em função da densidade, OIII, apenas para Strong AGN e controle associadas. . . . .	42
4.12	Excesso de velocidades em função da densidade, NII, apenas para Strong AGN e controle associadas. . . . .	42

---

4.13	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle. . . . .	43
4.14	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do módulo velocidade peculiar da galáxia no referencial do aglomerado . . . . .	43
4.15	Excesso de velocidades em função da densidade, $H\alpha$ , apenas para Strong AGN e controle associadas. . . . .	44
4.16	Excesso de velocidades em função da densidade, OIII, apenas para Weak AGN e controle associadas. . . . .	45
4.17	Excesso de velocidades em função da densidade, NII, apenas para Weak AGN e controle associadas. . . . .	45
4.18	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado, apenas para Weak AGNs e galáxias de controle associadas . . . . .	46
4.19	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função da velocidade da galáxia na linha de visada no referencial do aglomerado, dividida pela dispersão de velocidade do aglomerado, apenas para hospedeiras de Weak AGN e galáxias de controle associadas . . . . .	46
4.20	Excesso de velocidades em função da densidade, $H\alpha$ , região central . . . . .	48
4.21	Excesso de velocidades em função da densidade, OIII, região central . . . . .	48
4.22	Excesso de velocidades em função da densidade, NII, região central . . . . .	49
4.23	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado, região central . . . . .	49
4.24	Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do módulo velocidade peculiar da galáxia no referencial do aglomerado, dividida pela dispersão de velocidade do aglomerado, região central . . . . .	50

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 AGNs

“AGN” é uma sigla para a expressão “active galactic nuclei” (em inglês), ou “núcleos ativos de galáxias”. A grosso modo, tal expressão se refere a casos nos quais a emissão de luz da região central de uma galáxia não pode ser explicada unicamente pela emissão de estrelas. Em casos assim, o núcleo da galáxia brilha de forma muito intensa, podendo chegar até mesmo a brilhar 100 vezes mais que todo o restante da galáxia. Uma galáxia que contém um AGN é referida, em geral, como “galáxia ativa”.

As primeiras observações dos espectros que viriam a ser classificados como AGN foram feitos por E. A. Fath (1909), porém apenas com as observações de galáxias espirais por Seyfert (1923), passamos a ter uma compreensão melhor do fenômeno. Seyfert notou que algumas delas apresentavam linhas de emissão estreitas e largas, sendo as estreitas correspondentes às linhas proibidas da série de Balmer e as largas correspondentes às linhas permitidas da série de Balmer. Outras galáxias, diferentemente do primeiro grupo, apresentavam apenas as linhas estreitas. As primeiras passaram a ser chamadas de Seyfert 1 e as outras, de Seyfert 2. A figura 1.1 exemplifica as duas classes.

As galáxias Seyfert constituem a nossa noção básica do que é um AGN, porém há outras classes de galáxias que, ainda apresentando características distintas das Seyfert, ainda assim têm atividade nuclear. As diferentes classes de AGNs representam o tipo de emissão que verificamos, a qual pode inclusive ser em rádio, ter violentas variações, ser no infravermelho, entre outros. Exemplos dessas outras classes são as radiogaláxias e as LINERs.

Radiogaláxias são núcleos ativos cuja emissão ocorre principalmente na faixa do rádio (com subdivisões análogas à Seyfer 1 e Seyfer 2). “LINER”, por sua vez, é a sigla em inglês para “Low Ionization Nuclear Emission Region” (“região nuclear de baixa ionização”, em português). Essas galáxias exibem várias das linhas de emissão que aparecem nas Seyfert, porém mais estreitas e menos intensas, de baixa ionização. A figura 1.2 ilustra o espectro de uma LINER.

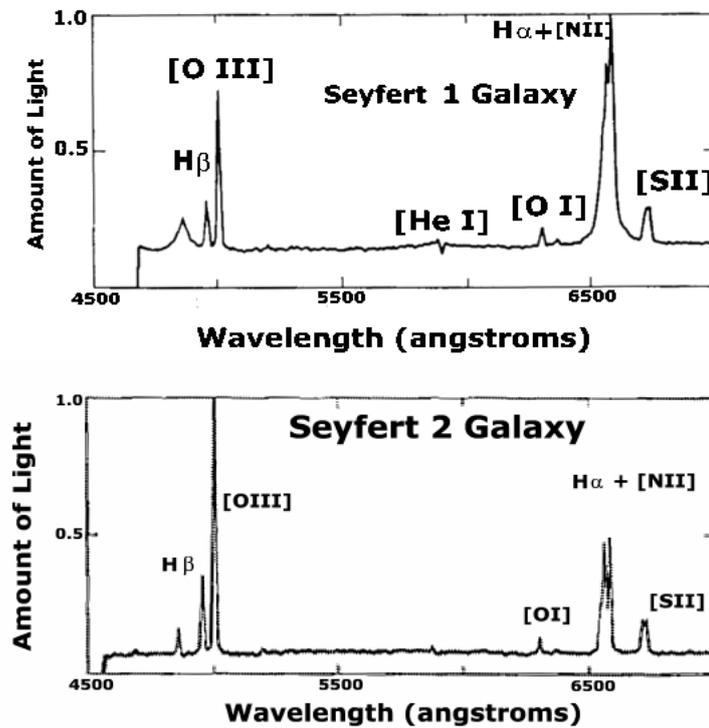


Figura 1.1: Espectro da região central de duas galáxias Seyfert (Seyfert 1 no topo, Seyfert 2 abaixo). No eixo vertical, o fluxo de luz em unidades arbitrárias. No eixo horizontal, o comprimento de onda em ângstroms. (Fonte: <http://casswww.ucsd.edu/archive/public/tutorial/AGN.html>)

É importante notar que, enquanto que as galáxias de Carl Seyfert eram apenas espirais, hoje sabemos que AGNs podem ocorrer tanto em galáxias early-type (elípticas, lenticulares) quanto em galáxias late-type (espirais, irregulares).

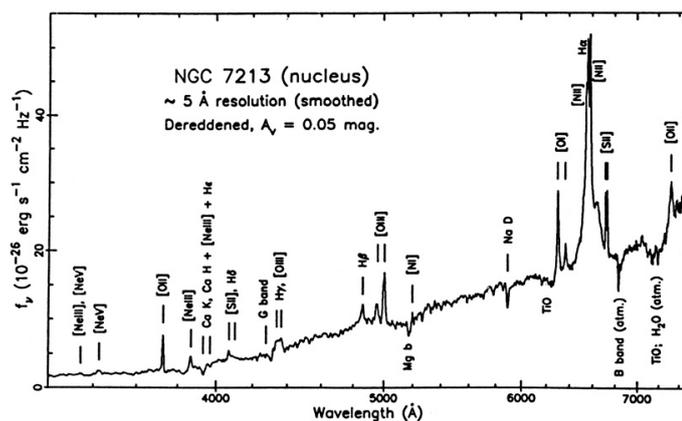


Figura 1.2: Espectro de uma LINER. (Fonte: [https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March02/Netzer/Netzer9\\_3.html](https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March02/Netzer/Netzer9_3.html))

Hoje entendemos AGN como uma fonte luminosa com algum conjunto das seguintes características:

- Região compacta não resolvida, com luminosidade da mesma ordem de grandeza (ou superior) à luminosidade do restante da galáxia.
- Linhas de emissão intensas de alta ionização.
- Variabilidade das linhas de emissão e do contínuo.
- Contínuo de natureza não-estelar.

A grosso modo, podemos considerar que núcleos Seyfert e núcleos LINER são duas versões do mesmo fenômeno, diferindo na luminosidade e no nível de ionização. Assim, podemos nos referir a essas duas classes como AGNs óticos “fortes”(“strong”) e “fracos”(“weak”).

O oxigênio precisa ser ionizado duas vezes para apresentar a linha de [OIII] $\lambda$ 5007 e, para que essa dupla ionização ocorra, é necessário uma quantidade de energia significativa (aprox. 35 eV), de forma que se costuma associar a linha de [OIII] mais fortemente a núcleos ativos. Assim, a luminosidade em [OIII] pode ser usada para classificar a intensidade do AGN em si, definindo-se um valor para o qual o AGN é considerado “Strong” ou “Weak”.

Essa não é a única forma de divisão entre as classes, porém se torna útil por não requerer análise do espectro como um todo ou utilização de diagramas dianóstico.

### 1.1.1 Modelo unificado

O paradigma atual sobre AGNs é de que todo o mecanismo de ionização é regulado por buraco negro supermassivo ( $10^6 < M/M_{\odot} < 10^9$ ). Buracos negros supermassivos vem sendo detectados na região nuclear de galáxias próximas, e sua massa é tanto maior quanto mais massivo o componente esferoidal da galáxia (e.g., Reines e Volontieri, 2015). Para galáxias massivas, podemos afirmar com segurança de que é o caso. Portanto, um modelo para explicar a atividade nuclear em certas galáxias inclui um buraco negro supermassivo, assim como outros elementos. Um toroide de poeira então se estende para uma região além de 100 pc. Além disso, há nuvens de gás na região entre o toroide e buraco negro. A região entre o buraco negro e o toroide, que contém nuvens de gás, é chamada de “região de linhas largas”. Nessa área, o gás está denso a ponto de haver desexcitações de elétrons por colisões. Então, quando de fato enxergamos alguma transição que envolva absorção ou emissão de fótons, em frequentemente serão das linhas permitidas da série de Balmer. A fonte de fotoionização nessa região, segundo modelos, é um objeto quente e muito luminoso no centro. Para além da região compreendida pelo toroide, o gás está mais rarefeito, distribuído em um volume consideravelmente maior que na região de linhas largas. Conseqüentemente, as transições de linhas proibidas da série de Balmer podem ocorrer com emissão ou absorção de fótons. A rotação do buraco negro provoca um forte campo magnético na forma de “jatos” saindo dos dois polos. Esse campo magnético afunila o gás e há a emissão de radiação síncrotron na faixa de rádio.

Tal modelo é chamado de “modelo unificado” pois permite que os diversos tipos de AGNs observados sejam explicados como sendo esse mesmo sistema de buraco negro e toroide de poeira, porém em diferentes ângulos em relação à linha de visada. É importante notar que o ângulo em questão é referente ao buraco negro, não necessariamente a galáxia hospedeira estará no mesmo plano.

A única diferença entre um núcleo Seyfert 1 e um núcleo Seyfert 2, no modelo unificado, é o fato de que, no segundo caso, a região de linhas largas está obscurecida pelo toroide de poeira. Então, independentemente do tipo de AGN do qual estamos tratando, o mecanismo é o mesmo, segundo o modelo unificado. A figura 1.3 mostra uma visão esquemática do modelo.

O modelo unificado requer uma quantidade considerável de gás para alimentar o buraco negro supermassivo e conseqüentemente a atividade nuclear. Assim, a atividade nuclear depende de algum mecanismo, seja ele interno (evolução secular) ou externo (interação da galáxia com o ambiente), capaz de direcionar gás para as proximidades do buraco negro supermassivo nuclear. A barra de uma galáxia espiral, por exemplo, vai retirar momento angular do gás conforme o mesmo a encontra e, conseqüentemente, esse gás tenderá a cair em direção ao núcleo, mas só uma fração das galáxias espirais com barra têm atividade nuclear. Assim, não basta que o gás seja jogado para o núcleo: o meio pelo qual esse movimento acontece e a quantidade também são importantes.

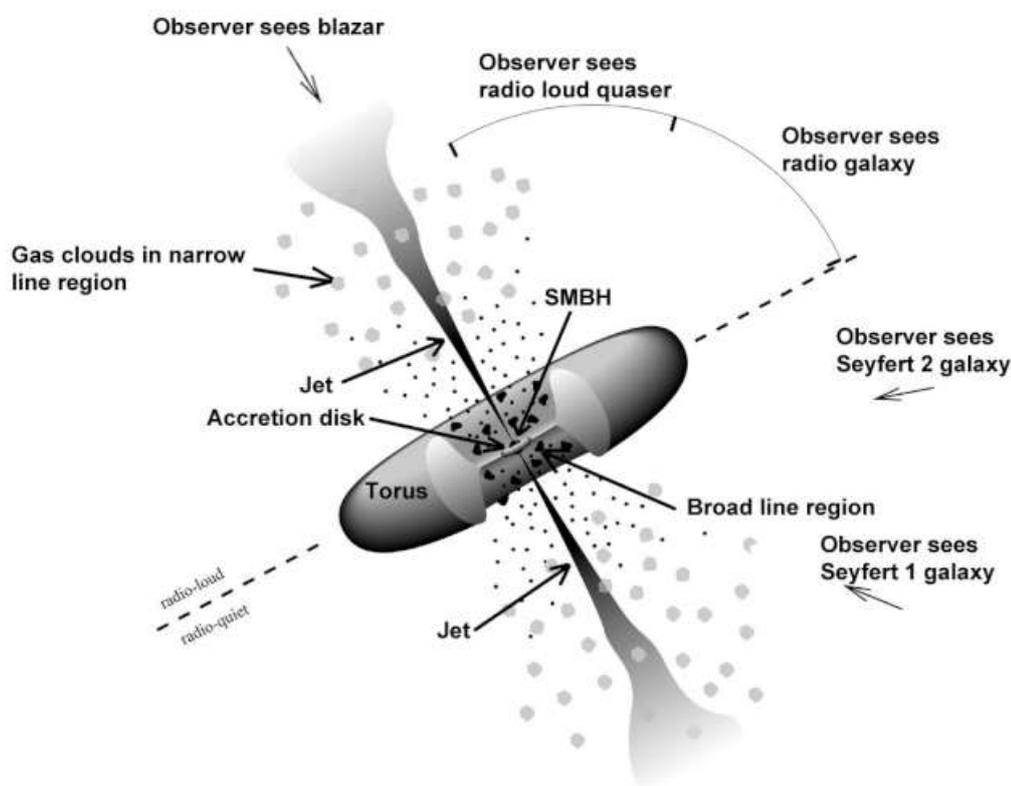


Figura 1.3: Modelo unificado para AGNs. As setas indicam os diferentes componentes e tipos de AGNs. (Fonte: <https://fermi.gsfc.nasa.gov/science/et eu/agn/>)

### 1.1.2 Diagramas diagnóstico

Existem múltiplos agentes em uma galáxia capazes de ionizar gás, produzindo, assim, linhas de emissão. Em regiões de formação estelar, as próprias estrelas são os agentes, enquanto que, em um núcleo ativo, há múltiplos mecanismos capazes de ionizar o gás. Naturalmente, é preciso saber diagnosticar esses diferentes agentes e, com esse intuito, Baldwin, Philips e Terlevich (1981) estudaram as razões de diversas das linhas de emissão mais intensas em AGNs. O que os autores descobriram foi que não havia uma única razão de linhas que conseguisse informar se havia atividade nuclear. Entretanto, um diagrama com uma razão entre duas linhas em um dos eixos e a razão entre outras duas linhas no outro eixo, dependendo das linhas escolhidas, poderia não só separar entre AGNs e galáxias cuja ionização do gás está associada a formação estelar (galáxias *starforming*), como também os AGNs entre Seyfert e LINER.

Esse diagrama ficou conhecido como “diagrama BPT”, e tipicamente é feito utilizando  $[\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta$  no eixo vertical e  $[\text{NII}]\lambda 6583/\text{H}\alpha$  no eixo horizontal. A figura 1.4 mostra um exemplo do diagrama BPT para uma amostra de galáxias.

O diagrama BPT ainda hoje é amplamente conhecido e utilizado, representando uma importante contribuição. Entretanto, cerca de 25 anos depois de Baldwin, Philips e Terlevich terem proposto o seu diagrama, ganhou força a noção de que uma galáxia que havia parado de formar estrelas poderia ter uma assinatura semelhante a um núcleo LINER. O motivo para isso seria fotoionização devido à estrelas evoluídas quentes de baixa massa (HOLMES, “Hot Low-Mass Evolved Stars”). Tais galáxias receberam o nome de “retired” (“aposentadas”), sendo também referidas como “LIERs” (“Low Ionization Emission Region”).

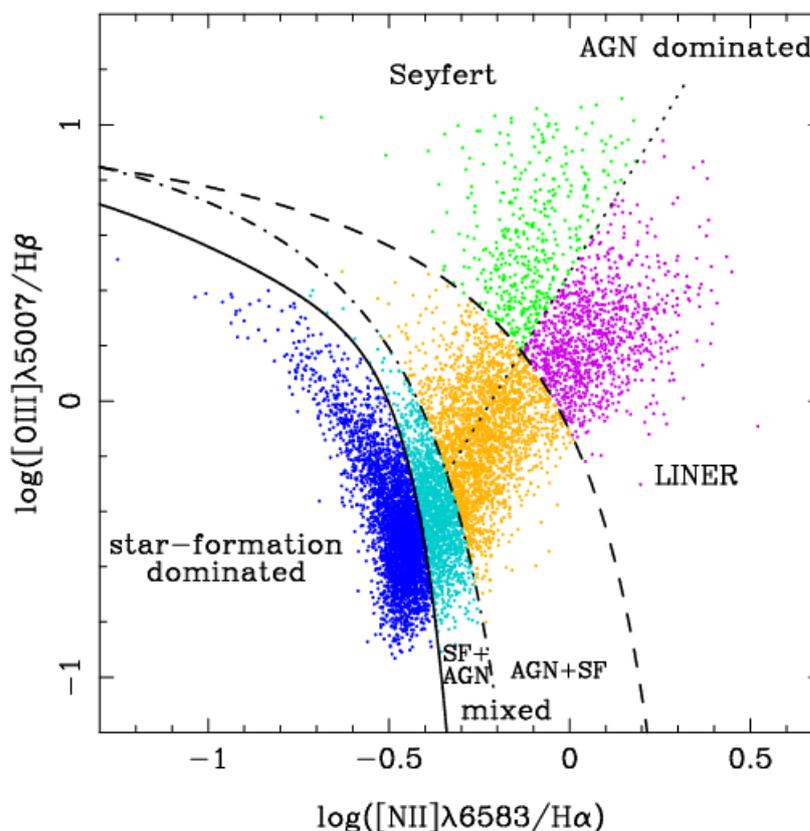


Figura 1.4: Exemplo de diagrama BPT para uma amostra de galáxias. Cada ponto representa a emissão nuclear de uma galáxia no ótico. Estão assinaladas as regiões correspondentes a núcleos LINER e Seyfert, bem como regiões nas quais o espectro é dominado por formação estelar. Há também regiões de transição. (Fonte: <http://inspirehep.net/record/796804/plots>)

Cid Fernandes et al. (2011) propuseram um novo diagrama, com o intuito de resolver o problema. Os autores ajustaram espectros de populações estelares e calcularam a capacidade de fotoionização da linha de  $H\alpha$  devido a HOLMES, assim como a intensidade prevista para a linha somente devido a HOLMES. Os autores também apontaram que razão  $\xi$  entre a intensidade observada para  $H\alpha$  e a intensidade devido a HOLMES, tem um *proxy* facilmente mensurável: a largura equivalente da linha de  $H\alpha$  ( $W_{H\alpha}$ ). Assim, a substituição do eixo vertical do diagrama BPT – a razão  $[OIII]/H\beta$  – por  $W_{H\alpha}$  conduz a um diagrama capaz de separar as galáxias *retired* das passivas (sem linhas de emissão) e das ativas. Esse diagrama recebeu o nome de “diagrama WHAN”. A figura 1.5 exemplifica o diagrama WHAN para uma amostra de galáxias.

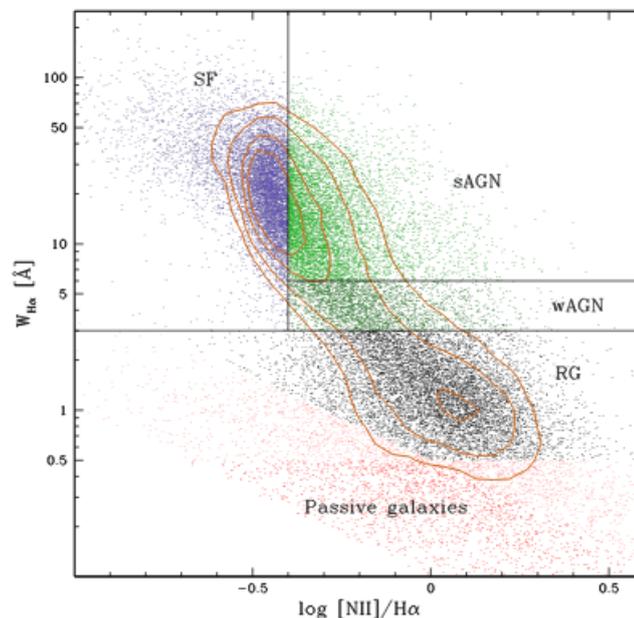


Figura 1.5: Exemplo de diagrama WHAN. Cada ponto representa uma galáxia. Estão assinaladas as regiões dominadas por formação estelar (SF) e as galáxias “retired”, assim como as galáxias passivas. As regiões “wAGN” e “sAGN” são, respectivamente, equivalentes a núcleos LINER e a núcleos Seyfert. (Fonte: Cid Fernandes et al. (2011))

### 1.1.3 Efeitos ambientais em AGNs

A esmagadora maioria das galáxias no Universo não estão isoladas. Quase sempre galáxias são acompanhadas de vizinhas, cujo número pode variar de uma a centenas. Esses conjuntos de galáxias recebem as denominações de grupos, no caso daqueles com menos objetos, ou de aglomerados, embora essas denominações sejam essencialmente arbitrárias. Por simplicidade, no que se segue, ambos serão referidos como “aglomerados”.

Um aglomerado tem três componentes principais: as galáxias, o gás intra-aglomerado e o halo de matéria escura. As frações de cada componente em massa variam dependendo das características do aglomerado (massa total, formato, riqueza<sup>1</sup>, etc.), porém é sabido que a matéria escura é o componente mais massivo com larga vantagem, representando pelo menos 80% do conteúdo do aglomerado.

Dentro do aglomerado, uma galáxia pode interagir com qualquer um dos outros componentes, inclusive com outras galáxias. Essas interações acontecem das mais diversas formas e muitas vezes simultaneamente. É possível, por exemplo, que uma galáxia espiral interaja com o potencial gravitacional do aglomerado e perca gás devido a efeitos de maré, efeito que chamados de *tidal stripping*. É razoável supor que esse tipo de alteração na quantidade e distribuição do gás da galáxia esteja relacionada à atividade nuclear, uma vez que o modelo unificado requer grandes quantidades de gás no

<sup>1</sup>Há várias definições para a riqueza de um aglomerado. Aqui, nos referimos ao número total de galáxias do aglomerado.

núcleo.

Ainda assim, não há um consenso sobre quais tipos de ambiente ou de interação favorecem a atividade nuclear. Esse problema é, ainda hoje, fonte de fortes debates, tanto pela sua importância científica quanto pela falta de evidências conclusivas em qualquer direção, seja em favor da dependência ambiental dos AGNs, seja contra. Naturalmente, muitos estudos se propuseram e se propõem a investigar essa relação ou a ausência dela.

Na década de 1990, Laurikainen & Salo (1995) analisaram o ambiente de 104 galáxias com núcleos Seyfert, assim como 138 galáxias de controle, a partir de dados do Paloma Sky Survey. Segundo os autores, galáxias com núcleo Seyfert aparecem em sistemas duplos (ou seja, com apenas uma companheira próxima) com a mesma frequência que outras galáxias, porém com uma frequência maior em sistemas com mais de duas galáxias próximas. Dentro de um raio de 50 kpc, segundo os autores, galáxias Seyfert têm duas vezes mais companheiras, sendo que essa taxa sobe para 3 vezes na faixa entre 50 kpc e 200 kpc. Além disso, o trabalho também afirma que os ambientes de Seyfert 1 e Seyfert 2 diferem “dramaticamente”(sic) entre si, com as Seyfert 2 tendo mais companheiras que a média e aparecendo em ambientes interagentes com maior frequência, enquanto que as Seyfert 1 apresentam números semelhantes ao restante das galáxias. Os autores enfatizam que resultados tão diferentes entre Seyfert 1 e Seyfert 2 vão contra o modelo unificado. Essa afirmação é importante não apenas por ir contra um paradigma de muitos anos, como também porque, se o modelo unificado não é representado de forma adequada a realidade, todas as suposições que fazemos sobre o transporte de gás para alimentação da atividade nuclear podem estar equivocadas.

Utilizando dados dos primeiros Data Releases do Sloan Sky Digital Survey, Miller et al. (2003) analisaram a fração de AGNs em função do ambiente. Com uma amostra de 4921 galáxias ( $0,05 < z < 0,095$ ), os autores identificaram, utilizando as intensidades relativas das linhas de [OIII], H $\beta$ , [NII] e H $\alpha$  (AGNs na faixa do óptico, portanto) que entre 20% e 40% de toda a amostra era composta de galáxias ativas. Além disso, enquanto que, com a distância do centro do aglomerado, a fração de galáxias *starforming* aumentava e a fração de galáxias passivas (não dominadas pelas linhas de emissão) diminuía, a fração de galáxias ativas se mantinha constante – o que concorda com outra conclusão do estudo: a fração de AGNs independe do tipo morfológico da galáxia hospedeira –. Devido à alta fração de AGNs, os autores afirmaram que ou a fase de atividade nuclear é muito mais longa do que se supunha à época, ou então fenômenos como fusões eram mais frequentes do que se imaginava, embora essa segunda opção fosse “inconsistente com outras observações e modelos.

Martini et al. (2003) fizeram uma revisão dos diferentes mecanismos de alimentação do AGN. Os autores argumentaram que estudos anteriores descartaram a hipótese de um só mecanismo regulador da atividade nuclear, e também que o tempo de atividade nuclear seria maior que o tempo de Hubble. Assim, para explicar a aparente falta de correlação entre mecanismos individuais e a fração de AGNs, os autores propõem algumas hipóteses, como múltiplos mecanismos atuando simultaneamente e a

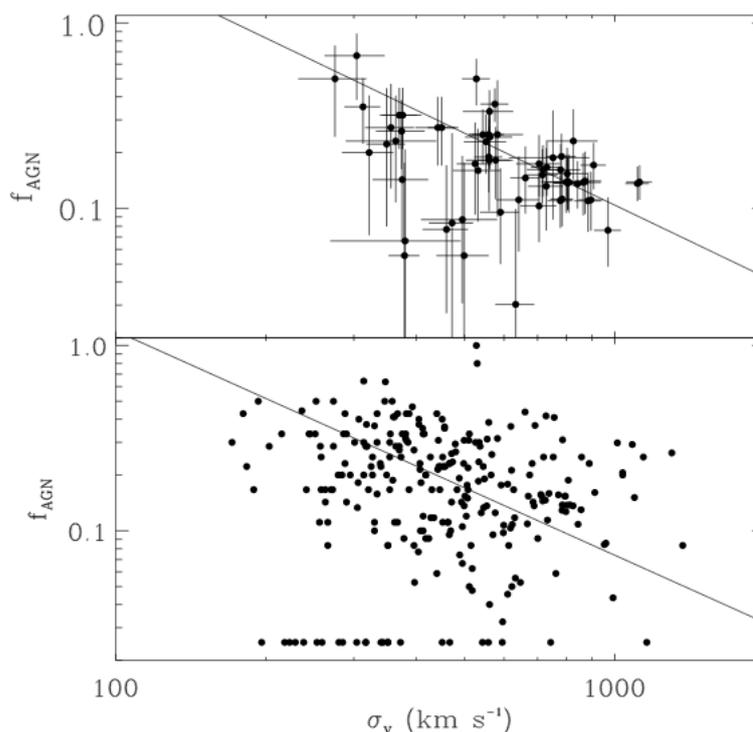


Figura 1.6: Fração de AGNs ( $f_{AGN}$ ) em função da dispersão de velocidade dos aglomerados ( $\sigma_v$  ( $km/s$ )), segundo Popesso e Biviano (2006). Os painéis superior e inferior correspondem a duas amostras distintas de aglomerados de galáxias.

importância da dependência do tempo.

Kauffman et al. (2004), ainda na primeira fase do Sloan Sky Digital Survey, investigaram a dependência ambiental de diversos parâmetros para uma amostra com aproximadamente 122 mil espectros de galáxias. Segundo os autores, a taxa de formação estelar é o parâmetro que mais depende do ambiente, algo esperando quando consideramos a distribuição de tipos morfológicos dentro de um aglomerado (late type nas regiões menos densas, early-type nas regiões mais densas). Sobre a dependência ambiental dos AGNs, esse estudo afirma que, quando fixada a massa estelar, a fração de Strong AGNs tem uma correlação com o ambiente: haveria mais Strong AGNs em grupos de riqueza menor. Apesar disso, quando consideramos algum valor determinado para a luminosidade em [OIII], as propriedades das galáxias contendo um AGN não dependeriam do ambiente.

Em Popesso e Biviano (2006), os autores investigaram a dependência da fração de AGNs com o ambiente utilizando apenas um parâmetro ambiental: a dispersão de velocidades do aglomerado. Mais uma vez, o diagrama BPT foi utilizado para diagnosticar os AGNs da amostra, sendo que o parâmetro ambiental foram obtidos de dois catálogos de aglomerados. Popesso e Biviano encontraram uma relação inversa entre a fração de AGNs e a dispersão de velocidades do aglomerado: quando uma quantidade aumenta, a outra diminui. A figura 1.6 ilustra essa relação.

É importante enfatizar que os números dos estudos até 2006 podem ter sido inflados pela presença

dos chamados LIERs, galáxias cujo gás é ionizado por HOLMES (ver seção 1.1.2) – tais relatos começaram por volta de 2006.

O trabalho de Ellison et al. (2011) trouxe alguns resultados muito interessantes. Em vez de investigar todo tipo de ambiente, os autores investigaram apenas a dependência da atividade nuclear com a presença ou ausência de uma galáxia companheira. Para isso, selecionaram as galáxias ativas de uma amostra de 11060 galáxias do Sloan Digital Sky Survey com uma companheira próxima ( $r_p < 80h^{-1}$  kpc,  $\Delta V < 200$  km s $^{-1}$ ). Os AGNs foram diagnosticados utilizando três esquemas de classificação baseados no diagrama BPT. Essa primeira amostra foi comparada com outra, de 110600 galáxias, sem companheiras próximas, porém semelhantes em massa e redshift. Segundo os autores, AGNs são 2,5 vezes mais comuns em pares do que nas galáxias de controle. Essa fração seria ainda maior no caso de pares com uma disparidade grande em massa, sendo que, nesses casos, as galáxias mais massivas seriam as principais candidatas a ter um AGN. Levando em consideração todos os parâmetros utilizados no estudo, os autores concluem, entre outros pontos, que não há uma defasagem entre períodos de formação estelar e períodos de atividade nuclear. Essa hipótese é muito importante, já que uma defasagem poderia explicar eventuais ausências de correlações entre a atividade nuclear e o ambiente.

Em Pimblett et al (2012), os autores analisaram uma possível dependência ambiental em galáxias ativas. A amostra daquele estudo consistia de seis aglomerados ( $0,07 < z < 0,084$ ), totalizando 300 galáxias dentro de  $R_{virial}^2$  e 701 dentro de  $3R_{virial}$ , excluindo aglomerados em processo de fusão com outros aglomerados. Os autores compararam a posição das galáxias dentro dos aglomerados ( $raio/R_{virial}$ ) com a velocidade das mesmas em relação ao centro do aglomerado nas quais estavam inseridas, e não encontraram mudança no comportamento das galáxias ativas e não-ativas. No mesmo trabalho, Pimblett et al. (2012) compararam a posição com a densidade do ambiente, também não encontrando relação. Uma das conclusões a que os autores chegaram é de que, se a ativação do núcleo é causada pela interação entre galáxias, as galáxias ativas podem ter se movido para além do local de interação. Considerando o tempo que esse movimento levaria, a hipótese levantada é que o fenômeno dos AGNs ocorre em uma escala de tempo relativamente grande, grande o suficiente para que a dependência ambiental seja mascarada.

Sabater et al. (2013) utilizaram dados do sétimo Data Release do Sloan Sky Digital Survey também para estudar a influência do ambiente, em especial de fusões, na atividade nuclear de galáxias. A amostra consistia de 267973 galáxias, distribuídas entre  $z = 0,03$  e  $z = 0,1$ , e os AGNs foram selecionados utilizando o diagrama BPT. Os autores concluíram que a fração de AGNs é constante entre galáxias em processo de fusão, porém apenas quando massa e taxa de formação estelar são fixadas, o que significaria que “a atividade nuclear depende apenas da quantidade de gás frio no centro galáxia”.

Há estudos, porém, que analisam o ambiente dos AGNs de forma diferente. Por exemplo, Kol-

<sup>2</sup>Raio dentro do qual os objetos estão virializados, isto é, suas órbitas obedecem ao mesmo potencial gravitacional.

latschny et al. (2012) buscaram analisar a intensidade das linhas de emissão em torno de galáxias ativas no universo local ( $z < 0,08$ ). Utilizando dados do quinto Data Release do Sloan Sky Digital Survey, os autores classificaram galáxias como Seyfert 1 baseadas na largura equivalente das linhas de emissão, como Seyfert 2 baseadas no diagrama BPT e como “galáxias HII” quando  $\log([OIII]\lambda 5007/H\beta) < 0,61/(\log([NII]/H\alpha) - 0,05) + 1,3$ . Os objetos da amostra foram separados em quatro amostras, de acordo com a emissão do núcleo da galáxia central do seu aglomerado: Seyfert 1, Seyfert 2, HII ou apenas com linhas de absorção. No total, foram analisados 25 mil espectros do SDSS. Segundo os autores, quando consideramos uma região de 400 kpc (distância projetada) em torno da galáxia central, as galáxias em torno de galáxias Seyfert ou HII apresentam atividade de linhas de emissão maior, por um fator que pode chegar a quatro. Além disso, Kollatschny et al. (2012) afirmam que galáxias com núcleo Seyfert 1 teriam menos galáxias vizinhas do que Seyfert 2 ou HII. Esse último ponto é muito importante, pois, segundo o modelo unificado, tanto Seyfert 1 quanto Seyfert 2 são fundamentalmente o mesmo fenômeno, de forma que os ambientes das duas classes deveriam ser indistinguíveis. Dado o sucesso do modelo unificado, esse é um resultado que requer uma análise mais profunda.

Martini et al. (2006) investigaram 40 galáxias de 8 aglomerados utilizando dados do Chandra X-Ray Observatory. Dessas 40, 35 foram identificadas como galáxias ativas, porém apenas 4 exibiam atividade nuclear quando considerada apenas a faixa do visível. Os autores estimaram que há uma fração de aproximadamente 5% de AGNs com luminosidades em raio-X superiores a  $10^{41}$  erg  $s^{-1}$  para galáxias com magnitude superior a  $M_R = -20$  mag e pertencentes a aglomerados. Os autores atribuíram a diferença entre a fração de AGNs detectadas no ótico e em raio-X a assinaturas fracas de AGNs de baixa luminosidade e/ou obscurecimento de acreção ao buraco negro supermassivo.

A ubiquidade do Sloan Sky Digital Survey no estudo de AGNs é inegável, porém isso significa que a maior parte dos estudos se concentra no universo local ( $z < 0,6$ ) e no ótico. Ainda assim, há estudos fora desses padrões. Por exemplo, Martini et al. (2013) estudou o ambiente de AGNs em raio-X e infravermelho-médio na faixa de  $1 < z < 1,5$  com dados do Spitzer/IRAC Shallow Cluster Survey. Satyapal et al. (2014) analisaram pares de galáxias usando dados do SDSS, porém combinando com dados do Wide-field Infrared Survey Explorer, a fim de observar através do toróide da região central, detectando assim núcleos ativos antes obscurecidos. De fato, ainda que qualitativamente os resultados sejam semelhantes a trabalhos como Ellison et al. (2011), Satyapal et al. (2014) encontraram uma fração maior de AGNs em pares, em relação a uma amostra de controle similar em redshift, massa e ambiente.

Não há muitos consensos no que se refere a influência ambiental na atividade nuclear de galáxias. Apenas alguns resultados, como a frequência maior de galáxias companheiras em torno de galáxias ativas, aparentam estar bem consolidados.

## 1.2 Objetivos

Mesmo os resultados que podem ser considerados sólidos, porém, descrevem um cenário muito limitado. Não sabemos dizer, para qualquer ambiente, se a atividade nuclear será mais ou menos comum do que outro ambiente aleatório – muito menos os motivos –.

Grande parte do problema até o momento era de natureza instrumental. Até muito recentemente, por exemplo, não se tinha resolução espectral para analisar a cinemática do gás em toda a extensão da galáxia. Se aceitamos o modelo unificado, a conclusão lógica é que a cinemática do gás deve ser diferente nas galáxias ativas. Entretanto, a nossa capacidade de analisar isso era muito limitada. Por conseguinte, os estudos até o momento buscavam uma abordagem muito mais estatística.

Hoje temos condições de fazer estudos mais detalhados. Podemos de fato caracterizar a cinemática da galáxia através de parâmetros cinemáticos. Aliando isso ao que já conhecemos sobre o ambiente em que as galáxias ativas estão, podemos gerar novo conhecimento sobre o fenômeno da atividade nuclear.

Assim, nosso objetivo imediato é obter parâmetros cinemáticos que caracterizem a cinemática do gás em cada galáxia e então compará-los com informações sobre o ambiente em que a galáxia está. Se os nossos parâmetros cinemáticos para o gás forem bem estimados e se uma quantidade maior do que o usual desse gás for necessária para atividade nuclear, devemos notar valores mais elevados desses parâmetros cinemáticos para galáxias ativas em relação a alguma amostra de controle. Então, caso a atividade nuclear dependa do ambiente, esperamos notar uma concentração maior de valores altos para os parâmetros cinemáticos em determinadas faixas de, por exemplo, densidade luminosa ou de riqueza do aglomerado em que a galáxia está.

Com isso, esperamos ao mesmo tempo elucidar parte de uma questão há muito debatida, ao mesmo tempo em que apresentamos uma nova abordagem para estudos da área.

## Capítulo 2

# Instrumentação e dados

No presente estudo, foi utilizada uma amostra de cento e setenta e uma galáxias selecionadas a partir do levantamento Sloan Digital Sky Survey IV. A amostra compreende tanto galáxias ativas quanto não ativas e tem como objetivo isolar os efeitos ambientais ao estabelecer duas galáxias de controle (sem atividade nuclear) para cada galáxia ativa.

### 2.1 O levantamento SDSS

O Sloan Digital Sky Survey (no que se segue, SDSS) foi iniciado no ano 2000 e teve como objetivo inicial fazer obter dados fotométricos e espectroscópicos de aproximadamente  $10^6$  galáxias e aproximadamente  $10^5$  quasares.

A figura 2.1 ilustra o telescópio de 2,5 metros de diâmetro utilizado pelo SDSS. Tal telescópio está localizado no Apache Point Observatory, no New Mexico, EUA. Desde 2000, quando o levantamento iniciou, houve 13 *data releases*, e os equipamentos foram modificados e melhorados. Cada *data release* inclui não apenas novas observações, como também um reprocessamento dos dados anteriormente obtidos.

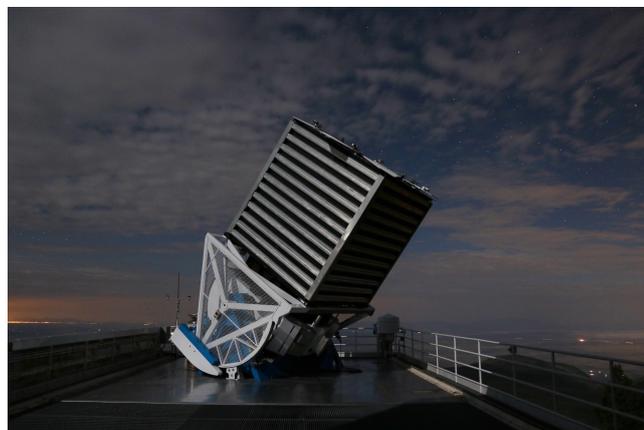


Figura 2.1: Telescópio do SDSS. (Fonte:<http://www.sdss.org/dr13/>)

Atualmente o SDSS se encontra em sua quarta fase, doravante referenciada como SDSS-IV. O primeiro Data Release dessa nova fase é o Data Release 13 (SDSS Collaboration et al.(2016)), cujos dados foram obtidos entre julho de 2014 e julho de 2015.

O imageamento do Data Release 13 cobre uma área de 14555 graus quadrados no céu (31637 graus quadrados quando consideradas as áreas observadas mais de uma vez). totalizando aproximadamente 260 mil estrelas e 208 mil galáxias. As observações foram feitas em cinco bandas fotométricas, como em Data Releases anteriores. A tabela 2.1 fornece os comprimentos de onda efetivos e a magnitude limite dos objetos amostrados em cada banda fotométrica.

Banda fotométrica	Comprimento de onda efetivo	Limite de magnitude
u	3551 Å	22,5
g	4686 Å	22,2
r	6165 Å	22,2
i	7481 Å	21,3
z	8931 Å	20,5

Tabela 2.1: Bandas fotométricas do Sloan Digital Sky Survey.

Cada banda fotométrica foi exposta por 53,9 segundos, com um intervalo de 71,72 segundos entre bandas. A PSF (“point spread function”) mediana na banda r era de 1,3 segundos de arco.

O levantamento espectroscópico, contabilizando todos os programas, totaliza 2.401.952 galáxias, 477162 quasares e 851968 estrelas. A cobertura espectral efetiva é de 1317 graus quadrados para estrelas e de 9376 graus quadrados para objetos extragalácticos. As fibras ópticas do espectrógrafo do SDSS têm 3 segundos de arco de diâmetro (180  $\mu\text{m}$ ) e estão dispostas em placas de 640 fibras cada, com espectros que vão de 3800 Å a 9200 Å. O SDSS ainda utiliza o espectrógrafo BOSS (*Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*), o qual usa fibras de 2 segundos de arco de diâmetro (120  $\mu\text{m}$ ) dispostas em placas de 1000 fibras cada, com espectros que vão de 3650 Å a 10400 Å. A resolução espectral para ambos os espectrógrafos é de 1500 a 3800 Å e de 2500 a 9000 Å.

## 2.2 O levantamento MaNGA

O levantamento MaNGA (Bundy et al., 2015) faz parte do Sloan Sky Digital Survey IV e tem como objetivo obter espectros de alta resolução para 10 mil galáxias do universo local ( $z \sim 0,03$ ), cobrindo uma área de 2700 graus quadrados no céu. Os espectros são obtidos através de unidades de campo integral (IFUs).

Os objetos do levantamento foram selecionados do NASA Sloan Atlas e da SDSS Main Galaxy Legacy Area, com cortes aplicados ao redshift, luminosidade na banda *i* e, para uma sub-amostra de galáxias, no índice de cor da banda *r*. Todos as galáxias observadas têm massa estelar ( $M_*$ ) superior

a  $10^9 M_{\odot}$  e foram selecionadas de forma que  $\log M_*$  tivesse distribuição homogênea.

Duas amostras foram definidas a partir da cobertura radial: “Primary” e “Secondary”. A amostra primária tem cobertura espectral de  $1,5 R_e$  (raio efetivo) para mais de 80% das suas 5000 galáxias. Foram adicionados ainda mais 1700 galáxias para que a distribuição de cor da amostra ficasse uniforme – essas galáxias foram chamadas de “Primary+”. A amostra secundária compreende aproximadamente 3300 galáxias, definidas de forma idêntica à amostra primária, porém com a exigência de que a cobertura espectral de pelo menos 80% dos objetos vá até  $2,5 R_e$ .

Juntas, a amostra primária e a amostra secundária representam aproximadamente 90% das galáxias a serem observadas pelo MaNGA. O restante é chamado de “amostra auxiliar”, cujos parâmetros vão além dos requeridos para as outras duas amostras. A figura 2.1 mostra a cobertura espacial das amostras combinadas.

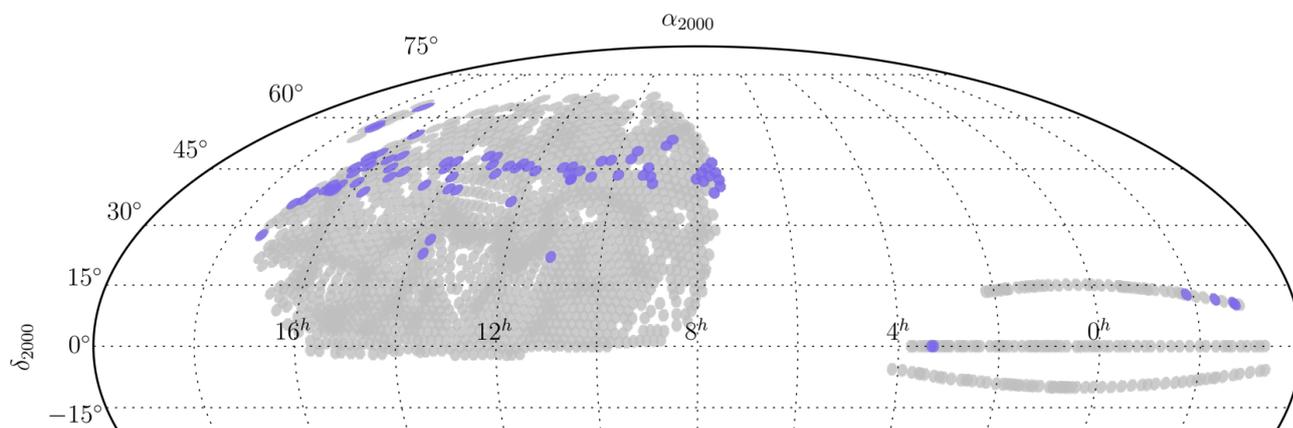


Figura 2.2: Cobertura espacial do MaNGA. (Fonte: <http://www.sdss.org/dr13/>)

Para observação das galáxias, são utilizadas 17 IFUs, que contêm entre 19 e 127 fibras e medem entre 12 e 32 polegadas de diâmetro. Ainda há 92 fibras para observação do céu, distribuídas em diversas IFUs. O número total chega a 1423 fibras. Para calibração de fluxo, o MaNGA utiliza 12 unidades de campo integral (IFUs) com 7 fibras ópticas. Na obtenção dos espectros, são utilizados dois espectrógrafos do BOSS (Baryonic Oscillation Spectroscopic Survey). Os espectros resultantes compreendem comprimentos de onda que vão de  $3600 \text{ \AA}$  a  $10300 \text{ \AA}$  com uma resolução de  $R \sim 2000$ . Os espectros, já processados, são distribuídos internamente para os participantes na forma de cubos de dados. A figura 2.2 ilustra uma galáxia-alvo do MaNGA com a respectiva IFU.

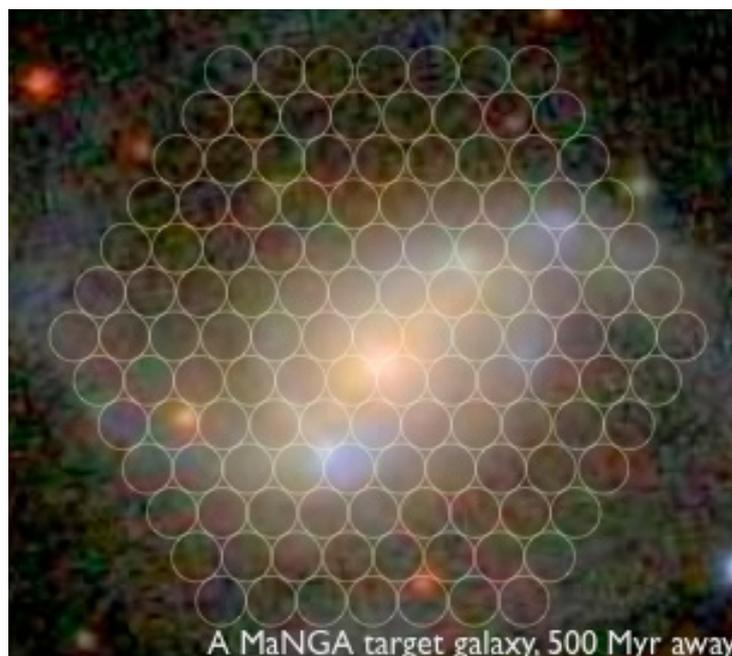


Figura 2.3: Galáxia-alvo do MaNGA. A grade representa a IFU. (Fonte: <http://www.sdss.org/surveys/manga/>)

Com isso, o MaNGA se propõe a responder algumas perguntas-chave no que diz respeito à formação e evolução de galáxias. Busca-se investigar o crescimento dos discos galácticos e mecanismos de transporte de gás, juntamente com o papel de fatores externos, como fusões, no encerramento da formação estelar. O levantamento também busca uma compreensão melhor dos processos que contribuem para o crescimento de bojos galácticos e galáxias elípticas, assim como a distribuições de massa e momento angular nos diferentes componentes das galáxias e a forma pela qual essas distribuições afetaram tais componentes ao longo do tempo (Bundy et al., 2015).

Ainda que seja levantamento muito recente, o MaNGA já foi utilizado para uma série de estudos, principalmente na análise de metalicidade e atividade nuclear. Ellison et al. (2017), por exemplo, utilizou o levantamento MaNGA para detectar um duplo AGN com uma separação de apenas  $\approx 8$  kpc e Wylezalek et al. (2017) combinaram dados do MaNGA com observações feitas pelo telescópio Gemini Norte para analisar a relação entre *outflows* de gás e luminosidade bolométrica total de AGNs. O MaNGA tem sido utilizado também para pesquisas não diretamente relacionadas a AGNs, como Belfiore et al. (2017), que utilizou o levantamento para estudar os gradientes de abundância de nitrogênio e de metalicidade do gás (O/H) em 550 galáxias, e Goddard et al. (2017), que analisou as histórias de formação estelar de 721 galáxias.

É importante enfatizar que o MaNGA não é o único levantamento espacialmente resolvido disponível. Outros exemplos incluem o Atlas 3D (Cappellari et al. 2011), o projeto SAURON (Bacon et al., 2001) e o CALIFA (Sánchez et al., 2012). Entretanto, o MaNGA se destaca pelo tamanho da amostra. O CALIFA, por exemplo, compreende aproximadamente 600 galáxias do Universo Local,

em comparação com as 10 mil que estarão presentes no MaNGA quando o mesmo estiver completo. Mesmo considerando apenas os dados que temos disponíveis atualmente, o MaNGA já é quase cinco vezes maior que a totalidade do CALIFA.

## 2.3 Amostra de galáxias

A seleção da amostra foi feita por Rembold et al. (2017, aceito para publicação), integrantes do Brazilian Participation Group do MaNGA. Dos 2778 cubos de dados do MaNGA Product Launch 5 (no que se segue, MPL-5), foram selecionadas 62 ativas e 109 de controle.

Os AGNs do MPL-5 foram selecionados utilizando as intensidades relativas das linhas de emissão, medidas no espectro integrado do SDSS-III DR12, em dois diagramas diagnóstico, BPT e WHAN (subseção 1.1.2). Os fluxos das linhas ( $H\alpha$ ,  $H\beta$ ,  $[OIII]\lambda 5007$ ,  $[NII]\lambda 6584$ ) e a largura equivalente da linha  $H\alpha$  para todos os objetos observados no MPL-5 foram retirados de Thomas et al. (2013), através de um script SQL na plataforma CASJOBS<sup>1</sup>. Foram considerados AGNs confirmados todas as galáxias que se situaram, levando em conta as incertezas nos parâmetros, nas regiões Seyfert ou LINER de ambos os diagramas.. Para todo o MPL-5, só 62 objetos cumpriram o critério. Utilizando esse método, objetos de transição<sup>2</sup> também são eliminados.

Com o objetivo de isolar fatores diretamente ligados à atividade nuclear, foi criada uma amostra de controle, semelhante à amostra de galáxias ativas em características como morfologia, idade estelar e metalicidade. Assim, eventuais assinaturas recorrentes na amostra de AGNs e ausentes na amostra de controle podem ser associadas à atividade nuclear.

Para seleção da amostra de controle, primeiramente foram separados os objetos cuja fonte de ionização não é um AGN. Entraram nessa etapa as galáxias que (i) foram classificadas como starforming nos dois diagramas diagnóstico, (ii) foram classificadas como starforming no diagrama WHAN e não puderam ser classificadas no diagrama BPT (por medidas imprecisas ou inexistentes nas linhas necessárias) ou (iii) foram classificadas como LINER no diagrama BPT, porém foram descartadas por serem classificadas como *retired* ou passivas no diagrama WHAN. Esses grupos, assim como os objetos que não apresentam linhas de emissão, foram todos considerados candidatos a amostra de controle. A figura 2.4 mostra os diagramas BPT e WHAN para a amostra do MPL-5.

---

<sup>1</sup><http://skyserver.sdss.org/casjobs/>

<sup>2</sup>Galáxias, no diagrama BPT, entre a região de formação estelar e a região dominada pela atividade nuclear.

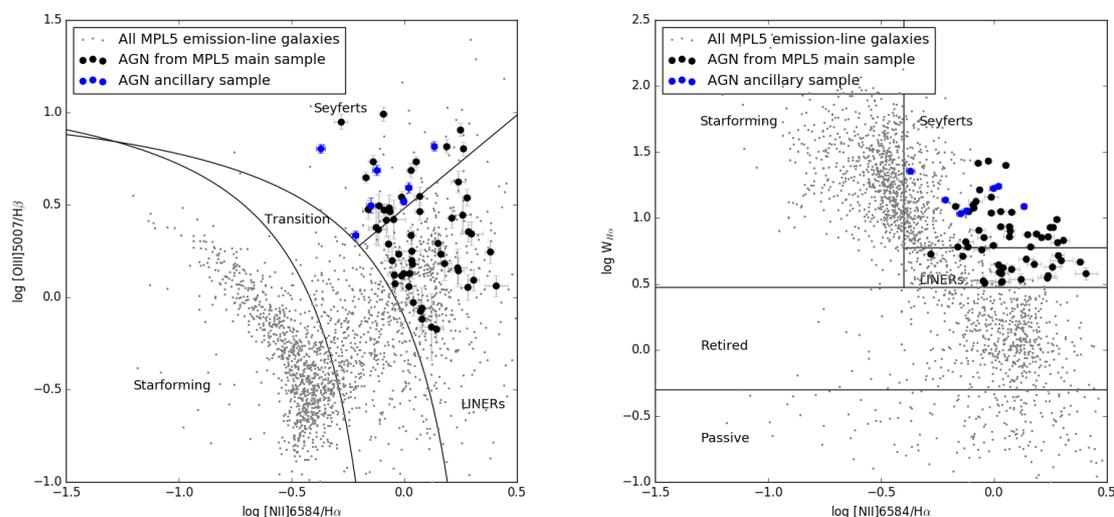


Figura 2.4: Diagramas diagnóstico (BPT à esquerda, WHAN à direita) para a amostra do MPL-5. Os pontos azuis representam os AGNs da amostra auxiliar do MaNGA, enquanto que os pretos representam os AGNs amostra principal e os cinzas representam todas as galáxias com linhas de emissão. Medidas das linhas fornecidas por Thomas et al. (2013). (Fonte da imagem: Rembold et al. (2017), aceito para publicação)

Para cada galáxia ativa, foram selecionadas as galáxias da amostra de controle cujo redshift e cuja massa estelar não diferiam mais de 30% em relação à galáxia hospedeira de AGN. O número de candidatas a controle para cada AGN, nessa etapa, era tipicamente 50. Após essa pré-seleção, as candidatas a controle para cada galáxia ativa foram analisadas visualmente. Foram escolhidas as duas que mais se aproximavam morfologicamente, incluindo características como razão axial, inclinação em relação à linha de visada e abertura dos braços. Estruturas mais próximas ao centro, como barras e tamanho relativo do bojo foram prioridade durante a seleção.

A nossa amostra final contém cento e setenta e uma galáxias, sendo sessenta e duas galáxias ativas e 109 galáxias de controle, em uma faixa de redshift de até  $z = 0,15$ . Algumas galáxias servem de controle para mais de uma galáxia ativa, totalizando 62 trios (galáxia ativa mais duas galáxias de controle). Um desses trios está ilustrado na figura 2.5. Conforme ilustrado na figura 2.6, distribuições de parâmetros como fração de massa estelar e magnitude na banda  $r$  são compatíveis, com exceção da luminosidade em [OIII] – algo esperado, já que essa linha é mais intensa em AGNs.

Segundo classificações do Galaxy Zoo 1, a amostra de galáxias ativas é composta por 34 espirais (55%), 18 elípticas (29%), 6 E/S, uma em processo de fusão e 3 sem classificação. Já as galáxias de amostra de controle são distribuídas, dentro de incertezas, da mesma forma que as galáxias ativas: 60% de espirais e 34% de elípticas. Dos 62 AGNs, 17 apresentaram luminosidade em [OIII] superior a  $3,8 \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ , o que nos permite classificá-los como Strong AGNs, segundo critério de Kauffman et al. (2003).

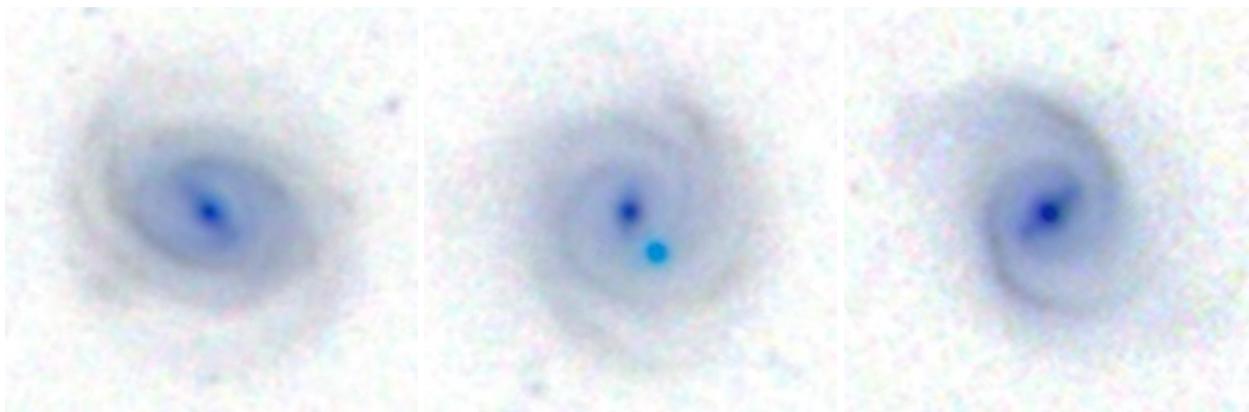


Figura 2.5: À esquerda, uma das galáxias ativas da nossa amostra. No centro e à direita, as galáxias de controle associadas. Imagens combinadas das bandas *ugriz*. (Fonte: Rembold et al., 2017, aceito para publicação)

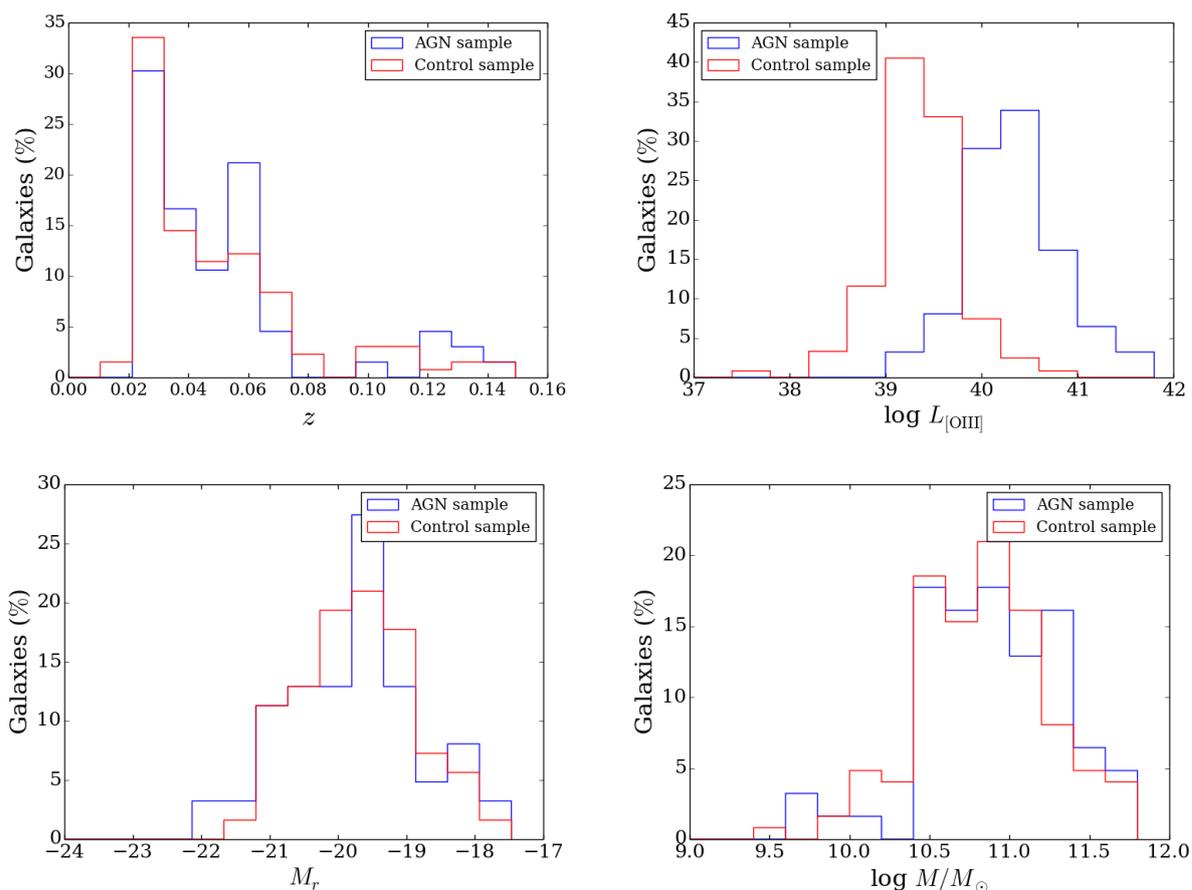


Figura 2.6: Em sentido horário, iniciando do canto superior esquerdo: distribuição das galáxias da amostra em redshift ( $z$ ), luminosidade de [OIII] ( $L_{[\text{OIII}]}$ ), magnitude na banda  $r$  ( $M_r$ ) e fração de massa estelar em unidades de massa solar ( $M/M_{\odot}$ ). A linha azul representa as galáxias ativas, a linha vermelha representa as galáxias de controle. (Fonte: Rembold et al. (2017), aceito para publicação)

# Capítulo 3

## Metodologia

Cada cubo de dados da nossa amostra é composta por uma série de espectros que descrevem regiões muito além do núcleo. Esses espectros podem ser decompostos e nos dar informações cinemáticas e fotométricas sobre a contribuição de cada linha de emissão ou de populações estelares nas diversas regiões da galáxia.

Como o objetivo final deste trabalho é comparar parâmetros cinemáticos com ambientais, o primeiro passo é obter medidas precisas para a contribuição de cada componente no espectro. Entretanto, não estamos interessados em qualquer movimento, e sim no movimento radial de gás. Portanto, após obter medidas das contribuições de cada linha para o espectro, precisamos subtrair a contribuição de movimentos não-radiais e finalmente juntar as informações de cada pixel e criar um único parâmetro que possamos usar para as comparações.

Nesse trabalho, vamos investigar a ocorrência de movimentos não circulares de gás em galáxias ativas e inativas e como esses movimentos se relacionam com o ambiente. Assim, foi necessário extrair dos cubos de dados informações associadas à cinemática das estrelas e do gás, bem como buscar na literatura parâmetros que caracterizem as propriedades ambientais de cada galáxia da amostra. Neste capítulo, detalhamos o processo de obtenção de todos os parâmetros, descrevendo também os programas e rotinas envolvidos.

### 3.1 GANDALF

GANDALF (Sarzi et al., 2006) é a sigla em inglês para “Gas AND Absorption Line Fitting” (“ajuste de gás e linhas de absorção”, em português). Trata-se de uma rotina escrita no ambiente IDL (Interactive Data Language) que, como o próprio nome indica, consegue ajustar simultaneamente linhas de absorção e de emissão, separando as contribuições em fluxo e fornecendo estimativas para a velocidade de cada uma. Além disso, o GANDALF também consegue estimar a contribuição do contínuo.

O GANDALF utiliza o algoritmo pPXF (“penalized Pixel Fitting”) para ajustar o contínuo e as linhas de absorção. Consequentemente, é necessário fornecer uma base de espectros. O espectro

ajustado é subtraído do original, restando apenas as linhas de emissão no espectro de uma galáxia. As linhas de emissão, por sua vez, são ajustados usando curvas gaussianas e o programa iterativamente procura os valores de velocidade que melhor descrevem aquelas linhas.

Embora existam outros algoritmos com propostas similares, escolhemos o GANDALF porque possibilita ajustar simultaneamente a contribuição estelar e das linhas de emissão, além de o algoritmo já estar automatizado para as linhas de emissão que utilizamos, segundo método descrito em Ilha (2015). Os ajustes para a nossa amostra, foram feitos por Gabriele S. Ilha, do Brazilian Participation Group do MaNGA utilizando base de espectros de populações estelares sintéticas (SSPs) de Bruzual & Charlot (2003). Assim, para cada galáxia, foram ajustados apenas o contínuo estelar e três linhas de emissão ( $H\alpha$ ,  $[OIII]\lambda 5007$  e  $[NII]\lambda 6853$ ). Decidimos ajustar apenas essas linhas após testes revelarem que o GANDALF fornecia medidas e estimativas melhores de incerteza quando o número de ajustes simultâneos é baixo. A figura 3.1 mostra os mapas de velocidade estelar e do gás obtidos a partir das medidas do GANDALF para uma das galáxias da nossa amostra.

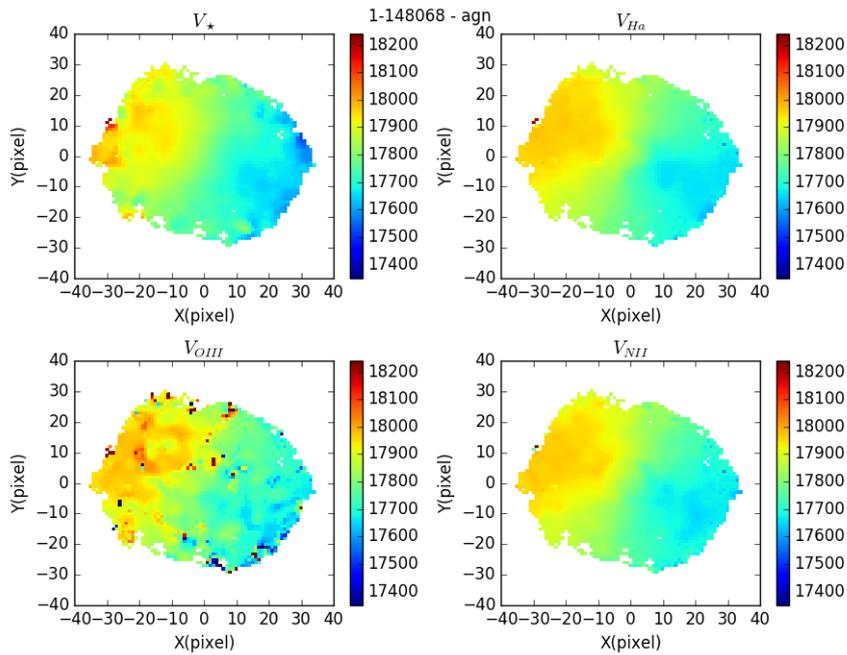


Figura 3.1: Mapas de velocidade com dados fornecidos pelo GANDALF para uma das galáxias da amostra de AGNs (o mesmo da figura 2.5). Em sentido horário, começando do canto superior esquerdo: velocidade estelar,  $H\alpha$ ,  $[OIII]\lambda 5007$  e  $[NII]\lambda 6853$ . As cores representam a velocidade (km/s).

## 3.2 Mapeamento cinemático e caracterização ambiental

Para extrair os dados cinemáticos das medidas do GANDALF e criar os modelos cinemáticos, criamos um programa na linguagem Python com as seguintes etapas:

1. Leitura do arquivo de saída do GANDALF.

2. Configuração do software de modelamento cinemático DiskFit (ver subseção 3.2.1)
3. Invocar o DiskFit, para criação do modelo cinemático.
4. Preparar as imagens com os mapas das velocidades estelares observadas e do modelo, bem como o mapa de resíduos e os mapas com o modelo cinemático subtraído das velocidades das linhas de emissão escolhidas.
5. Cálculo do excesso de velocidades na linha de visada, para caracterização de movimentos não-circulares.
6. Caracterização ambiental

### 3.2.1 DiskFit

O objetivo deste trabalho é investigar a cinemática do gás da galáxias ativas, procurando por eventuais assinaturas de fluxo em direção ao centro, que serviria como combustível para a atividade nuclear. É necessário, portanto, isolar a componente radial do movimento do gás. Para isso, precisamos modelar a rotação da galáxia, o que permite excluir essa contribuição da velocidade do gás.

O DiskFit (Spekkens e Sellwood (2007), Spekkens e Sellwood (2010)) é um programa escrito em Fortran90 que tem como objetivo ajustar um modelo com ou sem simetria axial em galáxias de disco. O DiskFit é capaz de ajustar tanto dados fotométricos quanto cinemáticos, porém utilizamos apenas a parte cinemática neste trabalho.

O DiskFit é capaz de ajustar, para modelos fotométricos, e para uma série de raios concêntricos,  $(x_c, y_c, \epsilon_c, \phi_d, \phi_b)$ , onde  $(x_c, y_c)$  são as coordenadas do centro da galáxia,  $\epsilon_c$  é a elipticidade do disco,  $\phi_d$  é o ângulo de posição do disco e  $\phi_b$  é o ângulo de posição da barra, quando for o caso.

No que diz respeito aos modelos cinemáticos, o DiskFit é capaz de produzir modelos puramente rotacionais ou com movimentos não-circulares. Quando puramente rotacional, o programa tenta ajustar um modelo que supõe um disco fino, supondo que a velocidade observada obedece à seguinte equação:

$$V_{model} = V_{sys} + \sin(i)(\bar{V}_t \cos \theta + \bar{V}_r \sin \theta), \quad (3.1)$$

onde  $V_{model}$  é a velocidade modelada,  $V_{sys}$  é a velocidade sistêmica da galáxia,  $i$  é a inclinação,  $\theta$  é a orientação da galáxia em relação ao seu eixo maior e  $\bar{V}_t$  e  $\bar{V}_r$  são – respectivamente – as velocidades médias orbital e radial.

É possível ajustar também movimentos radiais, warps do disco, assim como barras e outras características. Neste estudo, estamos interessados apenas em usar os modelos cinemáticos para excluir as contribuições de movimentos não-radiais, portanto utilizamos o modelo puramente rotacional. O DiskFit, assim, nos oferece o que precisamos para subtrair a contribuição de movimentos não-radiais nas galáxias da nossa amostra.

O DiskFit requer dois arquivos para ser executado: um arquivo com as informações, pixel a pixel, das velocidades observadas e dos erros nas medidas, e outro arquivo com as configurações desejadas para o ajuste. O arquivo de saída do GANDALF fornece uma tabela com as informações de velocidade, fluxo, incertezas e outras grandezas para cada pixel. O nosso código lê cada uma dessas tabelas e cria um novo arquivo apenas com as informações da velocidade estelar e dos erros na medida, na forma de *pixel list*. Nessa etapa, excluimos todos os pixels cuja velocidade estelar tem uma incerteza associada muito alta. Escolhemos um corte em incerteza no valor  $100 \text{ km/s}$ , que é comparável à amplitude de rotação de uma espiral Sc. Dessa forma, pixels com incertezas dessa magnitude contribuem com pouco mais do que ruído no modelamento cinemático.

O arquivo de configuração não é significativamente alterado de objeto para objeto: apenas calculamos o raio máximo que a galáxia ocupa na imagem e adicionamos raios para o ajuste que se estendem até o raio máximo. Ainda assim, encontrar os parâmetros certos para os ajustes foi o que demandou mais tempo. O DiskFit é um programa muito versátil, mas isso vem ao custo de um grande número de variáveis no ajuste, assim como de estimativas iniciais para os valores. Então, embora seja simples ajustar um único objeto, criar um conjunto de parâmetros que funcione bem o suficiente e de forma automatizada para todos os 171 objetos da nossa amostra foi um processo demorado e realizado por tentativa e erro. Eventualmente, chegamos a um conjunto de configurações e valores iniciais para os parâmetros que resultavam em ajustes satisfatórios para quase a totalidade dos objetos.

Na nossa amostra, há tanto galáxias late type, quanto early-type. Naturalmente, ajustar um modelo de disco fino não funcionará muito bem para galáxias early-type, porém, para fazermos comparações com significado, só é necessário que os ajustes das galáxias de controle tenham qualidade semelhante ao ajuste da galáxia ativa associada. Além disso, galáxias early-type representam apenas uma pequena fração da nossa amostra.

Com o intuito de sintetizar em um único valor numérico a contribuição de movimentos não-circulares do gás em cada galáxia da amostra, a fim de verificar uma eventual dependência do ambiente, calculamos um excesso de velocidade na linha de visada ( $\varepsilon$ ), que corresponde à média ponderada das diferenças entre a velocidade das linhas e a velocidade modelada em cada pixel, em escala logarítmica. Ou seja,

$$\varepsilon = \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i^2 v_i^2}{\sum_{i=1}^N \omega_i^2} \right) , \quad (3.2)$$

onde  $N$  é o número de pixels,  $v_i$  é a diferença entre a velocidade de uma linha e a velocidade modelada no pixel  $i$ , e  $\omega_i$  é o fator de ponderação é dado pela seguinte expressão:

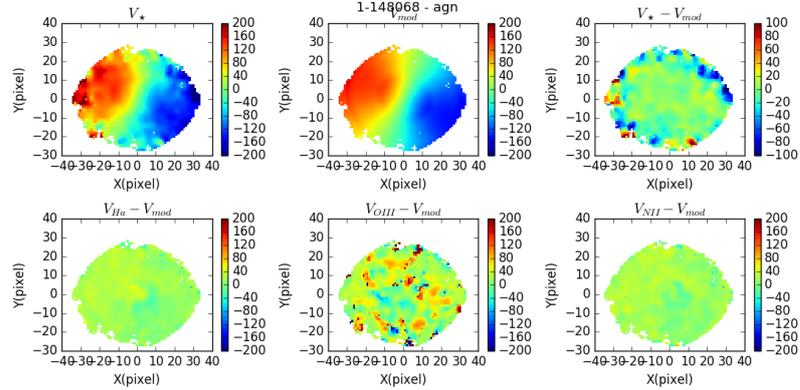
$$\omega_i = \sqrt{\frac{1}{\sigma_{i,*}^2} + \frac{1}{\sigma_{i,gas}^2}} , \quad (3.3)$$

onde  $\sigma_{i,*}$  é a incerteza na medida da velocidade estelar no pixel  $i$  e  $\sigma_{i,gas}$  é a incerteza na medida da velocidade do gás no pixel  $i$ .

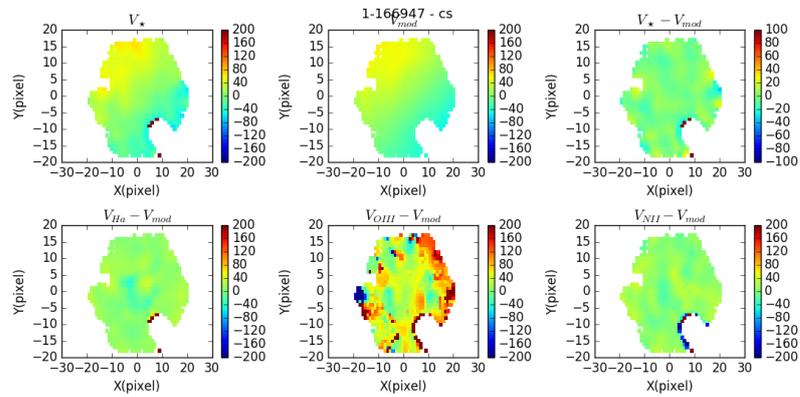
Embora os fatores de ponderação ajudem a reduzir a influencia de pixeis com baixo sinal espectral, aplicamos ainda um critério de corte, eliminando pixels cuja incerteza na medida do fluxo é igual ou superior à metade do fluxo medido para a linha de emissão em questão.

Escolhemos calcular esse parâmetro para três linhas de emissão ( $H\alpha$ ,  $[OIII]\lambda 5007$  e  $[NII]\lambda 6583$ ) pelo fato de serem tipicamente as linhas de emissão mais intensas presentes nos espectros das galáxias da nossa amostra

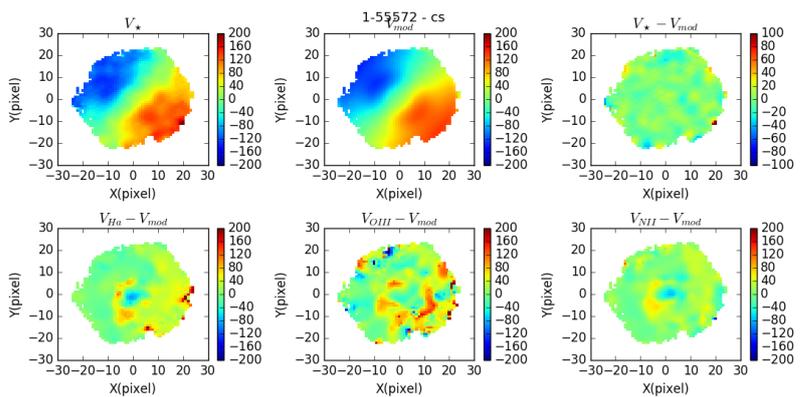
As figura 3.2 mostra os ajustes feitos para as galáxias da figura 2.5, assim como os mapas de resíduos. O modelo descreve melhor a região central, onde a dispersão de valores é menor. O eixo de rotação está correto, bem como os valores absolutos. Observamos que as linhas de  $H\alpha$  e  $[NII]$ , a rigor, seguem a rotação da galáxia, porém a linha de  $[OIII]$  apresenta uma dispersão maior de velocidades não-radiais. As figuras 3.3 e 3.4 representam as mesmas grandezas da figura 3.2, porém para outros dois trios (uma galáxia ativa e duas de controle).



(a)

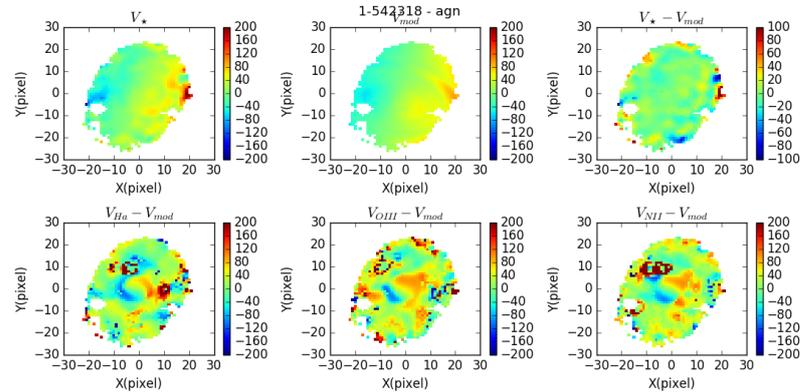


(b)

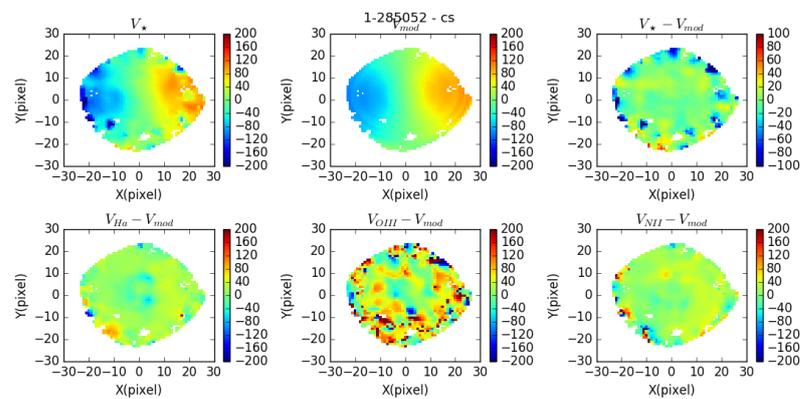


(c)

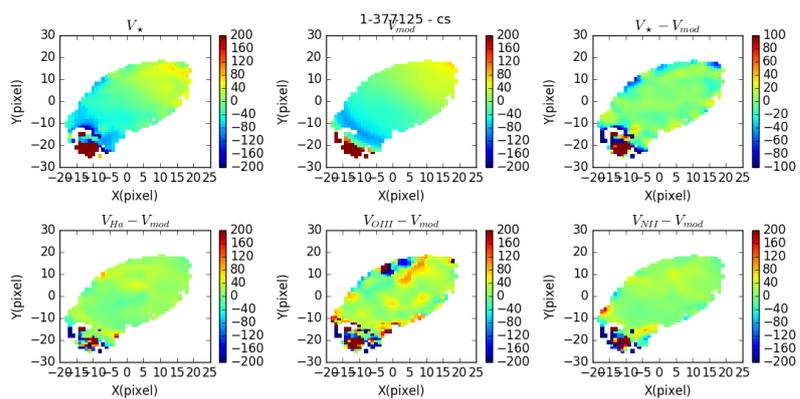
Figura 3.2: Exemplo dos ajustes cinemáticos produzidos com o DiskFit. (a) Uma das galáxias ativas da nossa amostra (mangaID: 1-148068). Na primeira linha, à esquerda, as medidas de velocidade estelar fornecidas pelo GANDALF; ao centro, o modelo do DiskFit; à direita, o mapa de resíduos. Na segunda linha, os mapas de velocidades de três linhas de emissão após a subtração do modelo do DiskFit. O mapa de cores representa as velocidades, em  $km/s$ . No caso dos mapas de velocidade estelar e do modelo, foi subtraída a velocidade sistêmica. (b) e (c) representam as mesmas grandezas, porém para as galáxias de controle associadas.



(a)

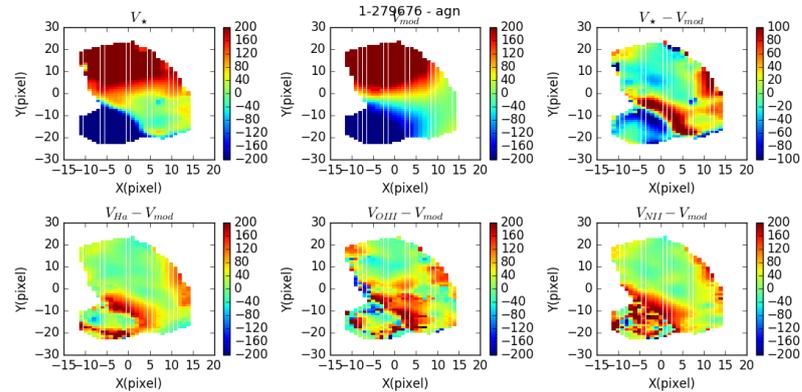


(b)

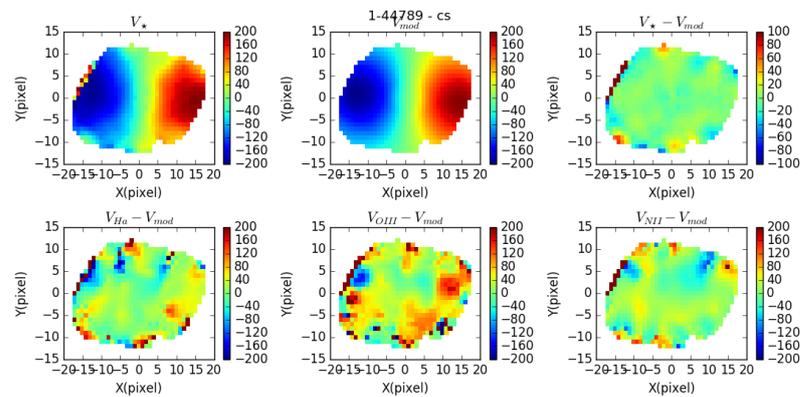


(c)

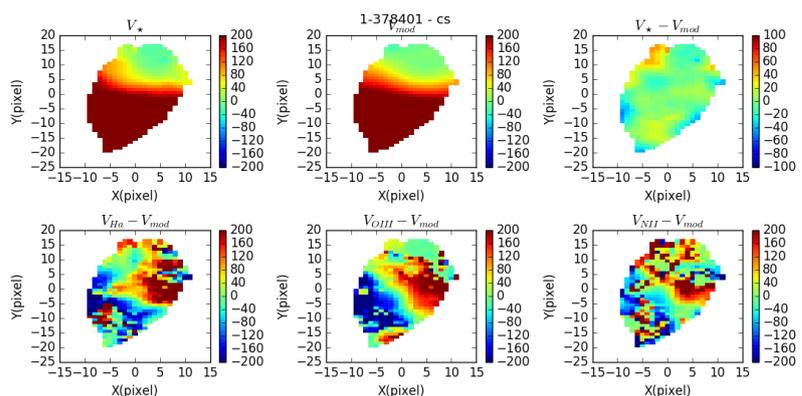
Figura 3.3: As imagens representam as mesmas grandezas da figura 3.2, porém para outra galáxia ativa (mangaID: 1-542318) (a), assim como as respectivas galáxias de controle (b) e (c). Aqui, ilustramos um caso em que o ajuste da galáxia ativa foi considerado satisfatório, mas no qual uma das galáxias de controle apresentou problemas.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.4: As imagens representam as mesmas grandezas da figura 3.2, porém para outra galáxia ativa (mangaID: 1-279676) (a), assim como as respectivas galáxias de controle (b) e (c). Aqui, ilustramos um caso em que o ajuste da galáxia ativa não foi considerado satisfatório, enquanto que ao menos uma das galáxias de controle foi bem ajustada.

### 3.2.2 Parâmetros ambientais

Para sermos capazes de fazer afirmações sobre o ambiente no qual os objetos da nossa amostra estão inseridos, utilizamos catálogo de grupos e aglomerados de Tempel et. al (2016), baseado no Data Release 12 do Sloan Digital Sky Survey. O catálogo contém 584449 galáxias e 88662 grupos, distribuídos em uma faixa de redshift que se estende até 0,2.

Na construção do supracitado catálogo, foi utilizado uma versão do algoritmo Friends-of-Friends (Turner e Gott, 1976), modificada para que a *linking length* seja um fator que varie com a nossa distância ao sistema. Esse algoritmo classifica objetos dentro de uma determinada *linking length* como pertencendo ao mesmo sistema. A *linking length* foi calculada para cada redshift da seguinte forma:

$$d_{LL}(z) = d_{LL,0} [1 + a \arctan(z/z_*)] \quad , \quad (3.4)$$

onde  $d_{LL}$  é a *linking length*, que varia com a distância.  $d_{LL,0}$  é a *linking length* a redshift ( $z$ ) igual a zero,  $a$  e  $z_*$  são parâmetros livres. De acordo com os testes feitos pelos autores, os valores de  $d_{LL,0}$ ,  $a$  e  $z_*$  mais adequados para os dados utilizados são, respectivamente, 0,34 Mpc, 1,4 e 0,09.

O objetivo, segundo os autores, foi construir um catálogo no qual parâmetros como riqueza, desvio das velocidades e tamanho médio não variassem com a distância. Tal característica do catálogo permite fazer comparações entre os ambientes nos quais os objetos estão inseridos.

O parâmetro mais relevante para o nosso trabalho é a densidade ambiental. O catálogo de Tempel et. al. (2016) fornece esse parâmetro baseando-se no campo de densidade luminosa. Aqui, é importante discutir como esse campo foi calculado.

Para calcular a densidade luminosa, é necessário identificar com precisão as luminosidades individuais de cada galáxia. Entretanto, a amostra tem um efeito de seleção: para os grupos mais distantes, apenas as galáxias mais luminosas aparecem. Além disso, para os objetos mais próximos, é feito um corte para os objetos mais luminosos, de forma que o superaglomerado local não apareça no catálogo. Com o intuito de levar em consideração esse efeito de seleção, Tempel et. al. criaram um fator dependente da distância:

$$W_d = \frac{\int_0^\infty L \cdot n(L) dL}{\int_{L_1}^{L_2} L \cdot n(L) dL} \quad , \quad (3.5)$$

onde  $L$  é a luminosidade,  $n(L)$  é a função de luminosidade,  $L_{1,2} = L_\odot^{0,4(M_\odot - M_{1,2})}$  são os limites da janela de observação a uma distância  $d$ , correspondendo aos limites de magnitude absoluta na janela  $M_1$  e  $M_2$ . Os autores usaram  $M_\odot = 4,64$  mag. <sup>1</sup>

Uma vez determinado o valor desse parâmetro para alguma determinada galáxia, o que Tempel et. al chamam de “luminosidade total” para a galáxia pode ser calculado, utilizando a seguinte expressão:

<sup>1</sup>O símbolo  $\odot$  se refere ao Sol.

$$L_{tot} = L_{obs} \cdot W_d \quad , \quad (3.6)$$

onde  $L_{obs}$  é a luminosidade observada. Então, após calcular a luminosidade total, os autores calcularam o campo de densidade luminosa. Para essa finalidade, foi utilizada a seguinte expressão:

$$l_i = \frac{1}{a^3} \sum_{gal} K^{(3)} \left( \frac{r_{gal} - r_i}{a} \right) L_{tot}, \quad (3.7)$$

onde  $L_{tot}$  é a luminosidade total calculada e  $a$  é a escala do kernel ( $K^{(3)}$ ). O kernel utilizado tem a forma:

$$B_3(x) = \frac{|x-2|^2 - 4|x-1|^3 + 6x^3 - 4|x+1|^3 + |x+2|^2}{12} \quad , \quad (3.8)$$

cuja curva se assemelha a uma gaussiana.

O fator  $a$  se refere ao ponto a partir do qual a curva é normalizada. Na prática, isso significa que, para um  $a$  maior, estamos observando as maiores escalas (filamentos, voids) e, para  $a$  menor, é a vizinhança local da galáxia. Tempel et. al fizeram o cálculo da densidade luminosa para quatro fatores de escala: 1,5 Mpc, 3 Mpc, 6 Mpc, 10 Mpc. Neste trabalho, como buscamos analisar efeitos locais, temos maior interesse nos fatores de escala menores.

Para cada grupo do catálogo, a dispersão de velocidades é calculada da seguinte forma:

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2n(1+z_m)^2(n-1)} \sum_{i=1}^n (v_i - v_{mean})^2 \quad , \quad (3.9)$$

onde  $v_{mean}$  e  $z_m$  são, respectivamente, a velocidade média do grupo e o redshift médio do grupo.  $v_i$  é a velocidade de algum determinado membro do grupo e  $n$  é o número de galáxias com velocidades observadas no grupo.

Como temos o redshift da galáxia e do aglomerado ao qual ela pertence (quando pertence a algum aglomerado), calculamos a velocidade da galáxia no referencial do aglomerado da seguinte forma:

$$\Delta v = \frac{z_{gal} + z_{cl}}{1 + z_{cl}} \quad , \quad (3.10)$$

onde  $z_{gal}$  é o redshift da galáxia,  $z_{cl}$  é o redshift do aglomerado e  $\Delta v$  é a velocidade da galáxia no referencial do aglomerado.

A última etapa do nosso trabalho, após realizar a caracterização dos movimentos não circulares para cada galáxia, é fazer o cruzamento de informações entre nossa amostra e o catálogo de Tempel et al(2016). Esse cruzamento foi feito por um segundo código, também escrito em Python, a partir da comparação direta dos IDs dos objetos na base espectroscópica do Data Release 8 do SDSS-III. Os IDs foram obtidos através de um script SQL na plataforma CASJOBS.

Com isso, obtivemos, para cada galáxia, a densidade luminosa para os quatro diferentes fatores de escala, a identificação dos grupos aos quais galáxias da nossa amostra estão localizados (se algum) e seus respectivos valores de riqueza, dispersão de velocidades e redshift.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1 Caracterização do Ambiente

O cruzamento da nossa amostra com o catálogo de Tempel et. al revelou que, entre as cento e setenta e uma galáxias da nossa amostra, cento e cinquenta e seis (93,5%) estavam presentes no catálogo. Das cento e cinquenta e seis, cinquenta e quatro são galáxias ativas e o restante é da amostra de controle. Pouco menos de um terço (47) são galáxias de campo, isto é, não associadas a algum grupo. Para os objetos que de fato estão associados a algum grupo, a figura 4.1 mostra a distribuição das galáxias de acordo com a riqueza do grupo a qual pertencem.

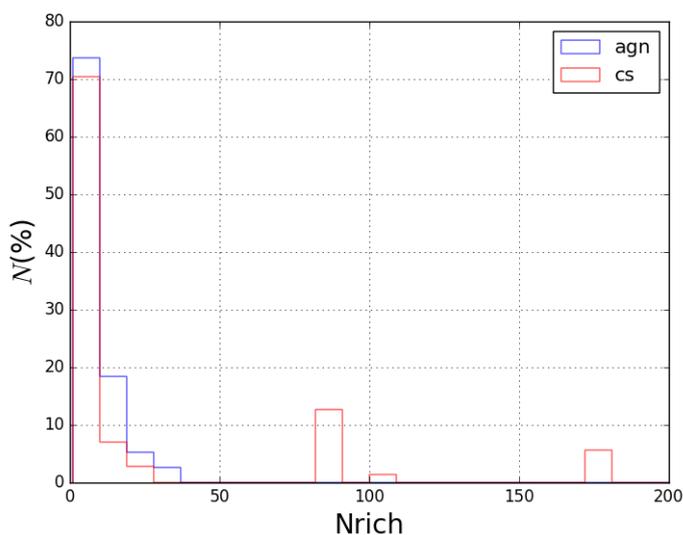


Figura 4.1: Distribuição das galáxias de acordo com a riqueza do grupo, separadas entre galáxias ativas (AGN) e de controle (CS). O eixo vertical representa o percentual de galáxias em relação ao total de galáxias ativas ou de controle presentes no catálogo e associadas a algum grupo. O eixo horizontal representa a riqueza dos grupos.

Notavelmente, as galáxias ativas tendem a se distribuir principalmente em grupos de baixa ou média riqueza. Não há, dentro da nossa amostra, qualquer galáxia ativa em um grupo de riqueza

superior a 31. Entre as galáxias da amostra de controle associadas a grupos (71), aproximadamente 20% (14) estão em grupos com riqueza superior a 50. Entretanto, um teste estatístico Kolmogorov-Smirnov (KS) visando determinar se as distribuições de riqueza para AGNs e controles podem ser originadas de uma mesma distribuição original fornece um valor-p (probabilidade de significância) de 0,49, de forma que as duas amostras são compatíveis em termos de riqueza e que a diferença notada é resultado do fato de o número de AGNs ser menor que o de galáxias de controle.

Na amostra de galáxias ativas, separando entre Strong AGNs e Weak AGNs, notamos uma distribuição semelhante. A figura 4.2 representa as mesmas grandezas da figura 4.1, porém apenas para as galáxias ativas. O teste KS revela um valor-p de  $\approx 0,12$  nesse caso, o que é alto demais para considerarmos que não há uma compatibilidade entre as amostras.

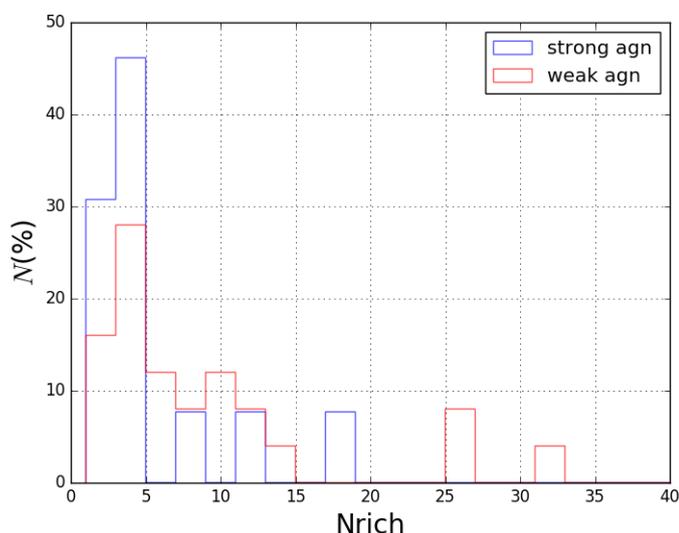


Figura 4.2: Distribuição das galáxias ativas de acordo com a riqueza do grupo, separadas entre Strong AGN e Weak AGN. O eixo vertical representa o percentual de galáxias em relação ao total de Strong AGN ou Weak AGN presentes no catálogo e associados a algum grupo. O eixo horizontal representa a riqueza dos grupos.

No que diz respeito às densidades luminosas, também fornecidas pelo catálogo, galáxias ativas e a amostra de controle demonstram um comportamento semelhante. A figura 4.3 mostra os histogramas para os quatro fatores de escala (1,5 Mpc, 3 Mpc, 6 Mpc, 10 Mpc). O teste KS foi realizado para cada um desses pares de conjuntos de pontos, acusando valores-p entre 0,59 e 0,91, o que nos permite afirmar que as amostras são compatíveis.

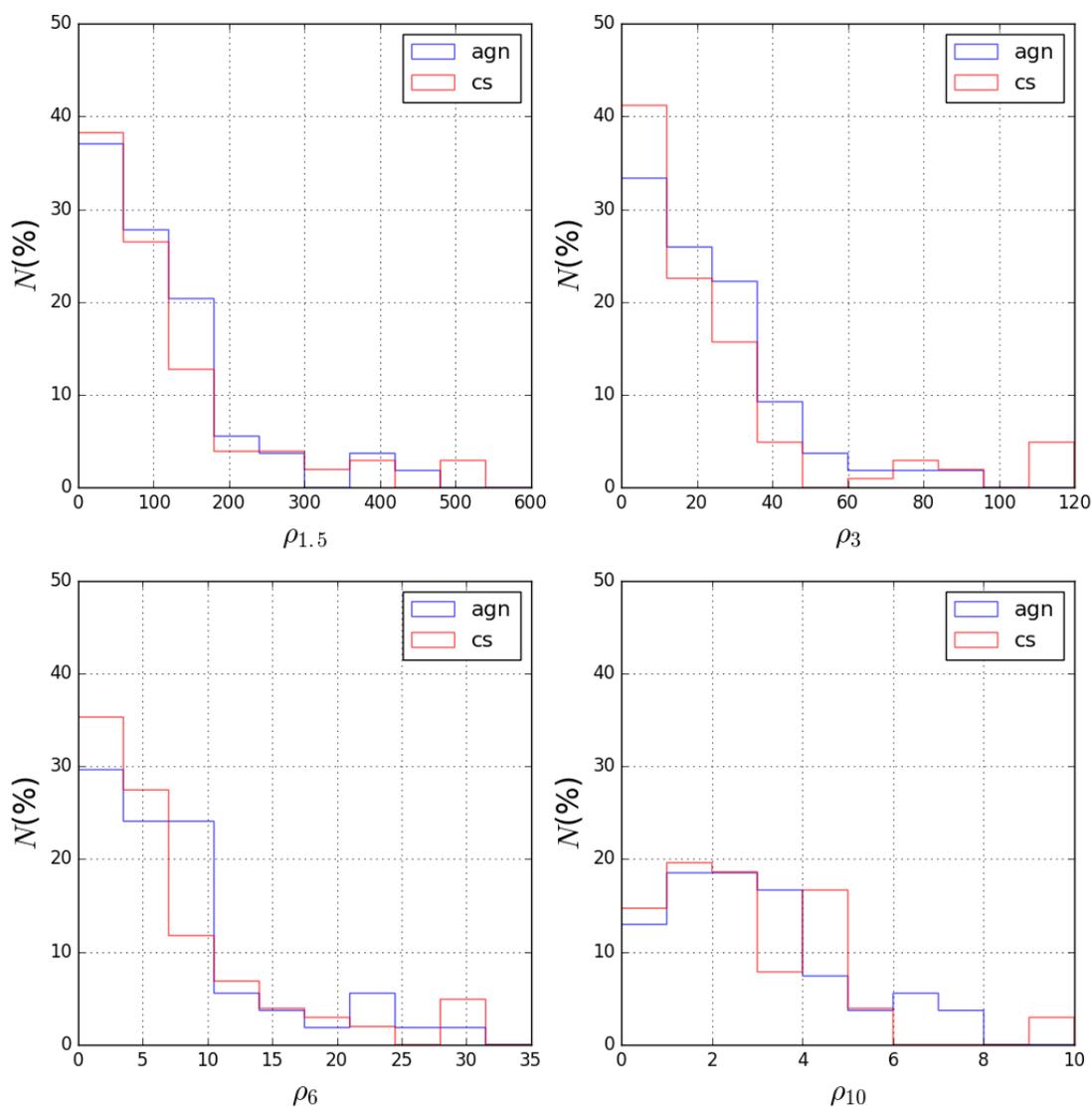


Figura 4.3: Distribuição das galáxias ativas e de controle de acordo com a densidade luminosa. O eixo vertical representa o percentual de galáxias, enquanto que o eixo horizontal representa a densidade luminosa calculada para cada galáxia. Cada histograma representa um fator de escala usado no cálculo da densidade (1,5 Mpc, 3 Mpc, 6 Mpc, 10 Mpc).

Na figura 4.4, apresentamos as distribuições de densidade luminosa para as sub-amostras Strong AGN e Weak AGN. A figura 4.4 representa as mesmas grandezas da figura 4.3, porém apenas para a amostra de galáxias ativas. Embora, para escalas maiores, as galáxias contendo Weak AGN apresentem uma defasagem em relação às galáxias que contêm um Strong AGN no que diz respeito à densidade, para as escalas menores – principal objeto deste estudo –, os dois conjuntos apresentam

curvas idênticas visualmente. O teste KS confirma essa impressão, com valores-p entre 0.9 e 0.22, mostrando que as diferenças entre as distribuições de densidade luminosa para Strong e Weak AGNs não são estatisticamente significativas.

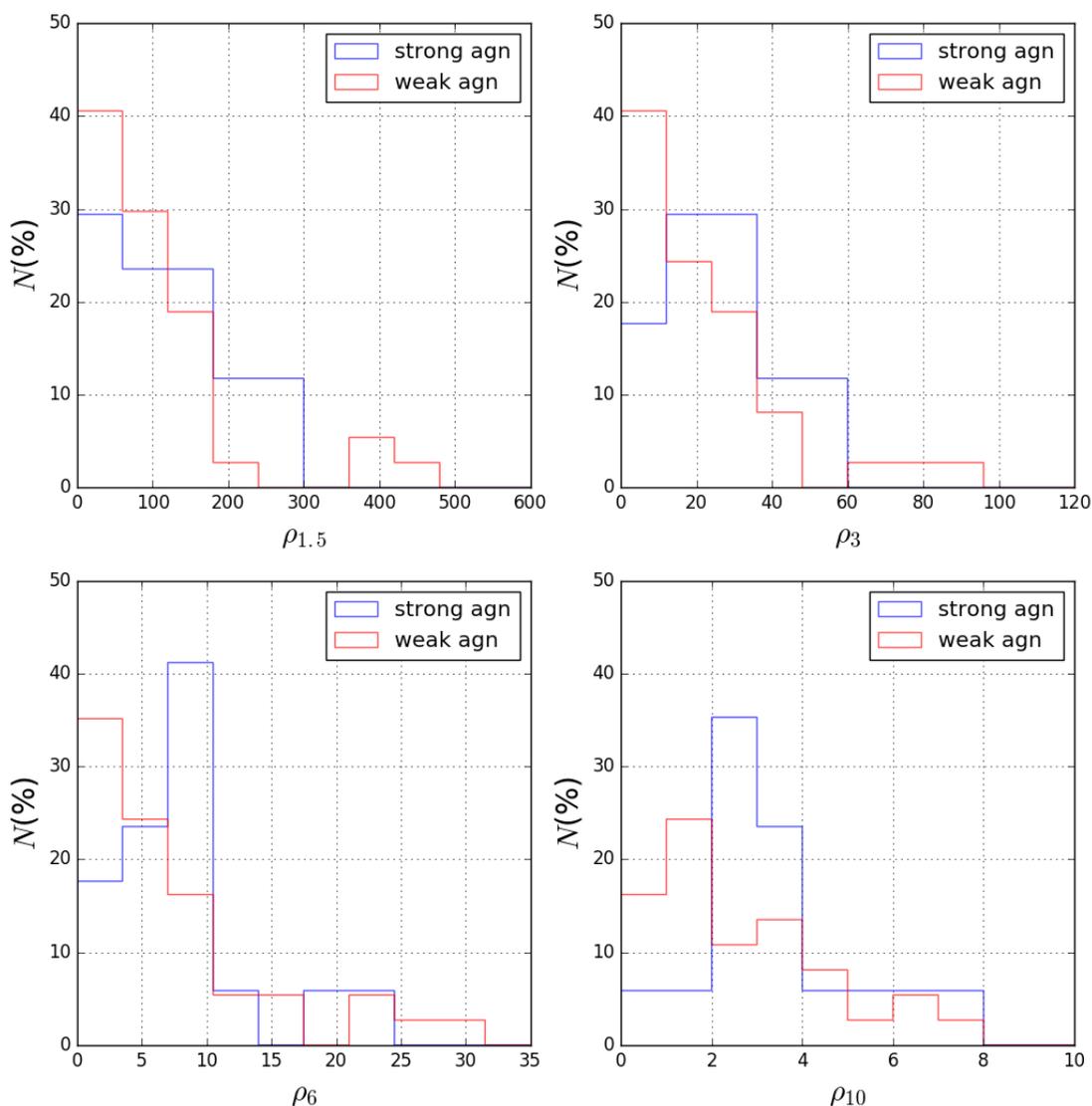


Figura 4.4: Distribuição das galáxias ativas e de controle de acordo com a densidade luminosa. O eixo vertical representa o percentual de galáxias, enquanto que o eixo horizontal representa a densidade luminosa calculada para cada galáxia. Cada histograma representa um fator de escala usado no cálculo da densidade (1,5 Mpc, 3 Mpc, 6 Mpc, 10 Mpc).

Portanto, independentemente das sub-amostras (ativas ou não ativas, strong AGN ou weak AGN)

que comparemos, todas as distribuições de densidade luminosa ambiental ao qual pertencem são estatisticamente muito semelhantes. Entretanto, o valor-p do teste KS para a riqueza indica que, nesse parâmetro, as distribuições de strong AGNs e weak AGNs são de fato distintas entre si, com Weak AGNs aparecendo mais em aglomerados de riqueza maior.

Correlação	Parâmetro	Valor-p KS
AGN/CS	$\rho_{1,5}$	0,6521
AGN/CS	$\rho_3$	0,6744
AGN/CS	$\rho_6$	0,5964
AGN/CS	$\rho_{10}$	0,9163
AGN/CS	Riqueza	0,3825
STRONG/WEAK	$\rho_{1,5}$	0,1308
STRONG/WEAK	$\rho_3$	0,1737
STRONG/WEAK	$\rho_6$	0,2268
STRONG/WEAK	$\rho_{10}$	0,0944
STRONG/WEAK	Riqueza	0,0212

Tabela 4.1: Resultados do teste Kolmogov-Smirnov

## 4.2 Análise de correlação ambiental e cinemática

Foram calculados, para cada uma das cento e setenta e uma galáxias da nossa amostra, os excessos de velocidade  $\epsilon$  (equação 3.3) para três linhas de emissão –  $H\alpha$ ,  $[OIII]\lambda 5007$  e  $[NII]\lambda 6583$ .

A figura 4.4 mostra os valores dos excessos de velocidade para o  $H\alpha$  em função da densidade luminosa, para todos os fatores de escala. À esquerda, estão as galáxias ativas, e, à direita, estão as galáxias de controle.

Em cada diagrama, mostramos um conjunto de três linhas, que correspondem aos percentis 5, 50 e 95% no valor de  $\epsilon$  obtido em regressões lineares aplicadas a 20000 realizações de *bootstrap* estatístico sobre os pontos de cada diagrama.

As incertezas em  $\epsilon$  foram estimadas através de 10000 realizações de um método de *bootstrap* estatístico. Uma vez que nem todas as galáxias de controle estavam no catálogo, quando todos os membros de um trio estavam presentes no catálogo, esse trio recebeu um peso maior nas realizações. Os percentis 33% e 67% dessas realizações foram tomados como sendo, respectivamente, os limites inferior e superior das barras de erro. Entretanto, a variação foi relativamente pequena, de forma que se torna difícil representá-la nos gráficos.

Podemos perceber que o parâmetro  $\epsilon$  medido pela linha  $H\alpha$  é praticamente independente da densidade luminosa, para qualquer escala. Além disso, não há qualquer diferença com significado estatístico entre as distribuições de pontos das galáxias ativas e das galáxias de controle. Tanto a amostra de controle quanto a de galáxias ativas apresentam distribuições no eixo vertical muito semelhantes.

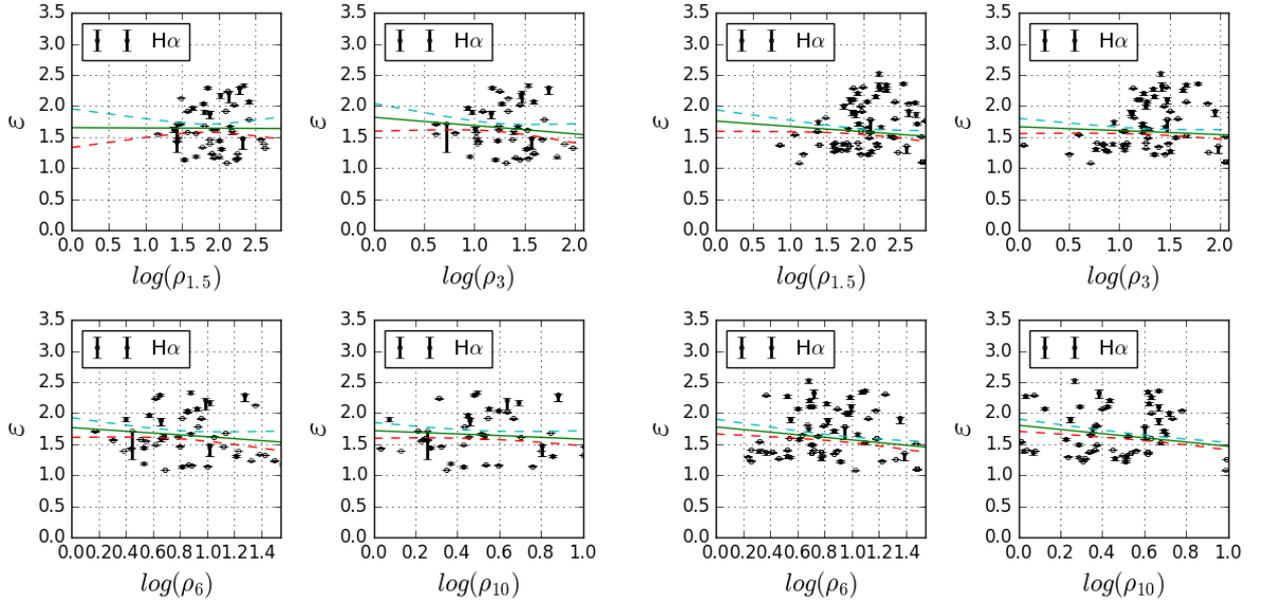


Figura 4.5: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, para  $H\alpha$ . À esquerda, as galáxias ativas e, à direita, as de controle. As linhas verde, azul e vermelha representam os percentis 5, 50 e 95% no valor de  $\epsilon$  obtido em regressões lineares aplicadas a 20000 realizações de *bootstrap* estatístico. As barras de erro foram obtidas através dos percentis 33 e 67% de 10000 realizações de *bootstrap* estatístico.

Testes de correlação Spearman foram realizados para todos os fatores de escala e os resultados (coeficientes de correlação e valores-p do teste) foram reunidos na tabela 4.1, que também reúne os testes para o restante das distribuições de pontos desta seção.

As figuras 4.6 e 4.7 representam as mesmas grandezas da figura 4.5, porém para as linhas de  $[OIII]\lambda 5007$  e  $[NII]\lambda 6583$ , respectivamente.

A figura 4.6 sugere que, para  $[OIII]$  e em densidades menores, há alguma possível correlação entre  $\epsilon$  e, densidade e atividade nuclear. Para a amostra de controle, os valores de  $\epsilon$  apresentam um aumento para densidades maiores nos dois primeiros fatores de escala. Entretanto, para a amostra de galáxias ativas,  $\epsilon$  permanece constante em todos os casos.

Também analisamos eventuais dependências do excesso de velocidade na linha de visada com outros dois parâmetros ambientais: a riqueza e a velocidade da galáxia na linha de visada no referencial do grupo normalizada pela dispersão de velocidades do aglomerado,  $\Delta v/\sigma$ . Aqui, usaremos esse último como um indicador do grau de virialização de cada sub-amostra em relação ao sistema ao qual pertence, já que galáxias recentemente acretadas por um grupo, ou ainda na região de *infall*, apresentam velocidades relativas geralmente mais altas (Yoon et al., 2017). No segundo caso, não foram consideradas as galáxias de campo.

A figura 4.8 mostra o excesso de velocidades em função da riqueza do grupo, para AGNs (à esquerda) e galáxias de controle (à direita). Para os AGNs, podemos ver que inexistem uma dependência

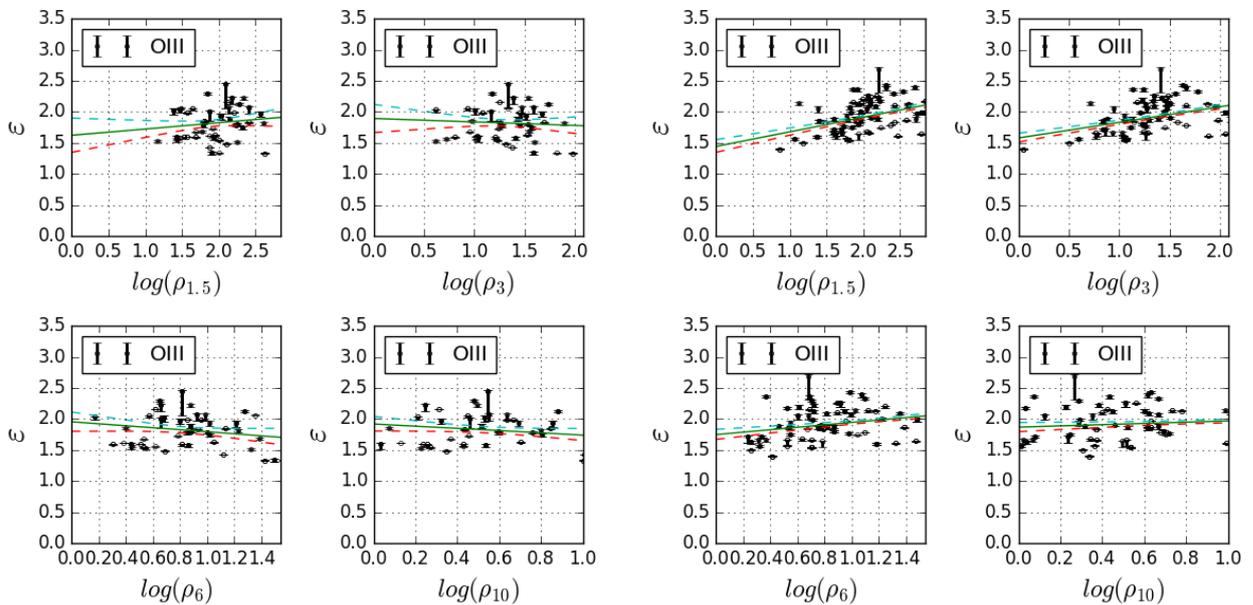


Figura 4.6: Distribuição do excesso de velocidade na linha de visada ( $\epsilon$ ) em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, para [OIII] $\lambda$ 5007. No topo, as galáxias ativas e, abaixo, as de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

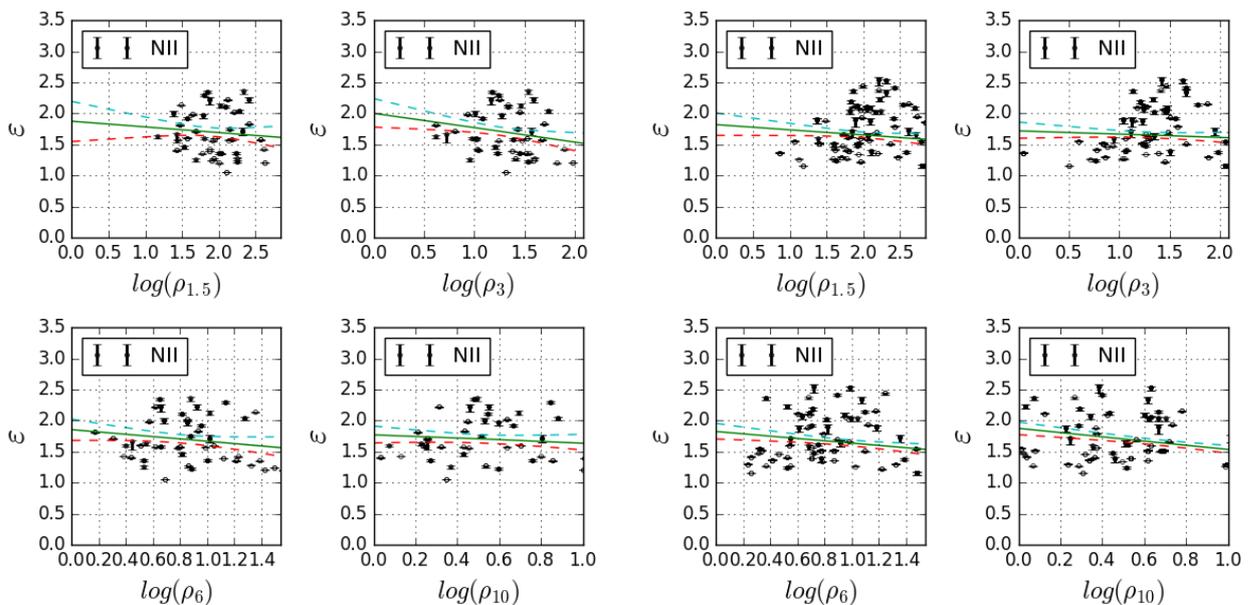


Figura 4.7: Distribuição do excesso de velocidade na linha de visada ( $\epsilon$ ) em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, para [NII] $\lambda$ 6583. À esquerda, as galáxias ativas e, à direita, as de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

entre  $\varepsilon$  e  $\log N$ . Para galáxias de controle, a figura sugere alguma dependência, no sentido de os maiores excessos de velocidade ocorrerem em grupos de menor riqueza. no entanto, dada a dispersão dos pontos no eixo vertical para as duas amostras, não podemos afirmar que o comportamento seja realmente distinto entre elas.

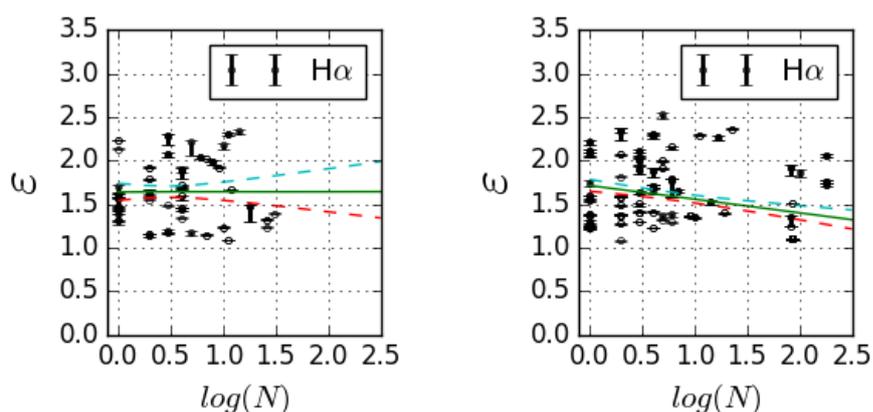


Figura 4.8: Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

A figura 4.9 mostra o excesso de velocidades, calculado para a linha  $H\alpha$ , em função de  $\Delta v/\sigma$ . Podemos ver que inexistente correlação entre essas duas grandezas, seja para a amostra de controle ou de AGNs.

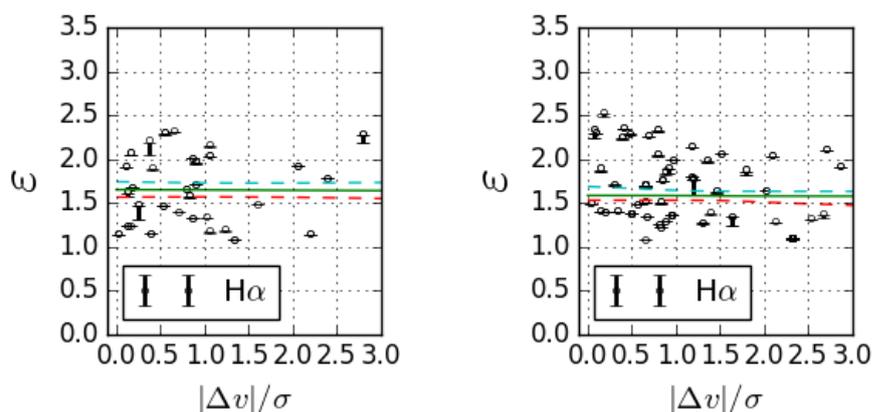


Figura 4.9: Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do módulo velocidade da galáxia no referencial do aglomerado, dividida pela dispersão de velocidade do aglomerado. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

### 4.2.1 Strong AGN

Consideramos nessa subseção apenas os Strong AGNs da amostra, assim como as galáxias de controle a eles associadas. Dos 17 Strong AGNs na nossa amostra, todos estavam presentes no catálogo, porém apenas quatro tinham as duas galáxias de controle também presentes – o restante tinha apenas uma. Ao fazermos os ajustes lineares, assim quando consideramos todas as galáxias da amostra, os trios completos receberam peso dobrado. Observa-se alguma correlação entre  $\epsilon$  e a densidade luminosa, para os quatro fatores de escala, para a amostra de AGNs. Tal correlação é bem menos evidente para a amostra de controle. Ainda assim, essa diferença pode ser explicado exclusivamente pela distribuição dos pontos no eixo horizontal, a qual, segundo o teste KS, é equivalente para AGNs e controle. Além disso, também devemos considerar as possíveis flutuações estatísticas.

As figuras 4.11 e 4.12 mostram os mesmos parâmetros da figura 4.10, mas medidas sobre as linhas [OIII] e [NII]. Para a linha [NII], o comportamento é semelhante ao observado para  $H\alpha$ : uma aparente correlação positiva entre varepsilon e a densidade local não compartilhada pela amostra de controle. Para [OIII], no entanto, as duas amostras, AGN e controles, apresentam comportamento semelhante, com uma aparente correlação positiva entre  $\epsilon$  e a densidade luminosa. Assim, em termos dos excessos de velocidade em [OIII], as duas amostras são indistinguíveis em sua dependência com o ambiente.

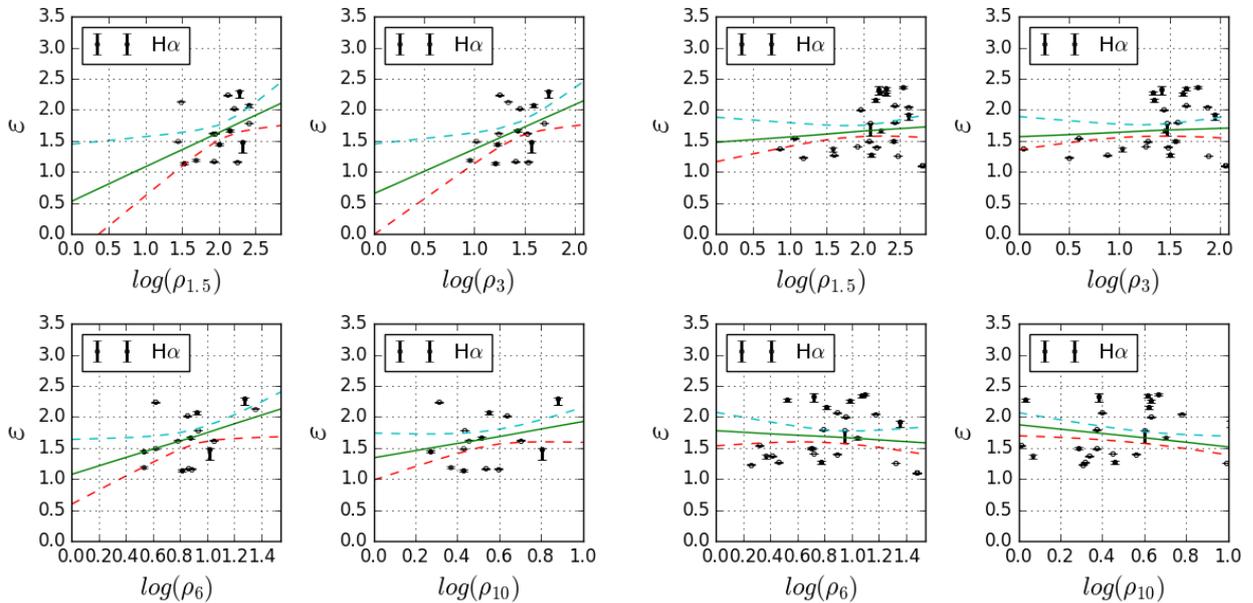


Figura 4.10: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) para  $H\alpha$  em função da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, apenas para Strong AGN e controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

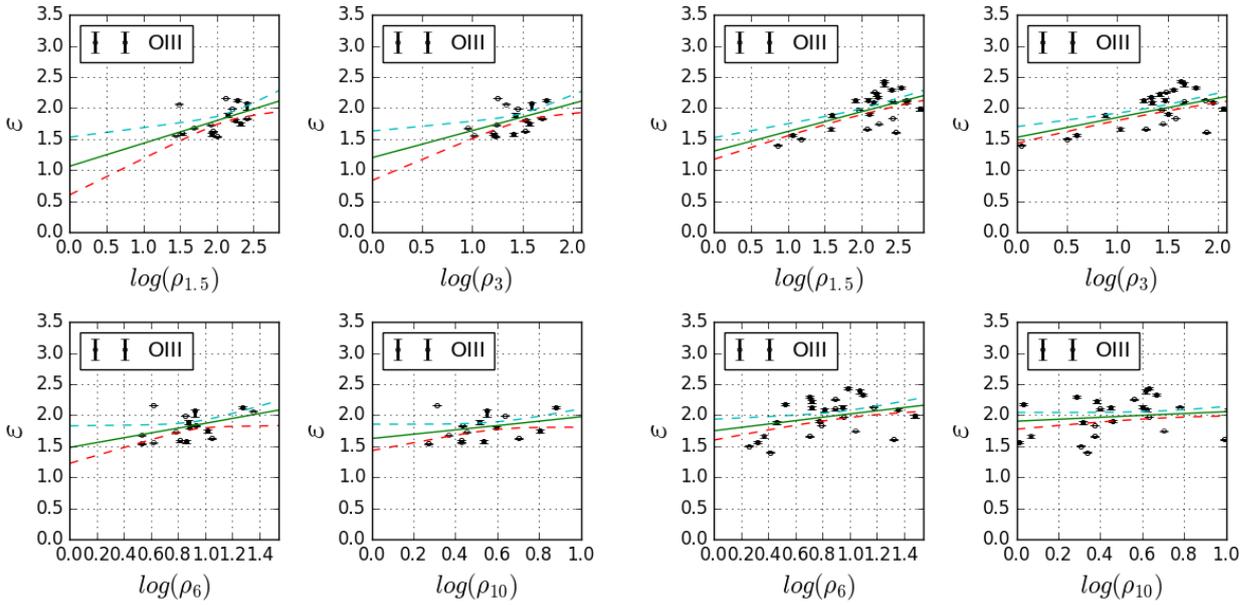


Figura 4.11: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) para  $[OIII]\lambda 5007$  em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, apenas para Strong AGN e controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

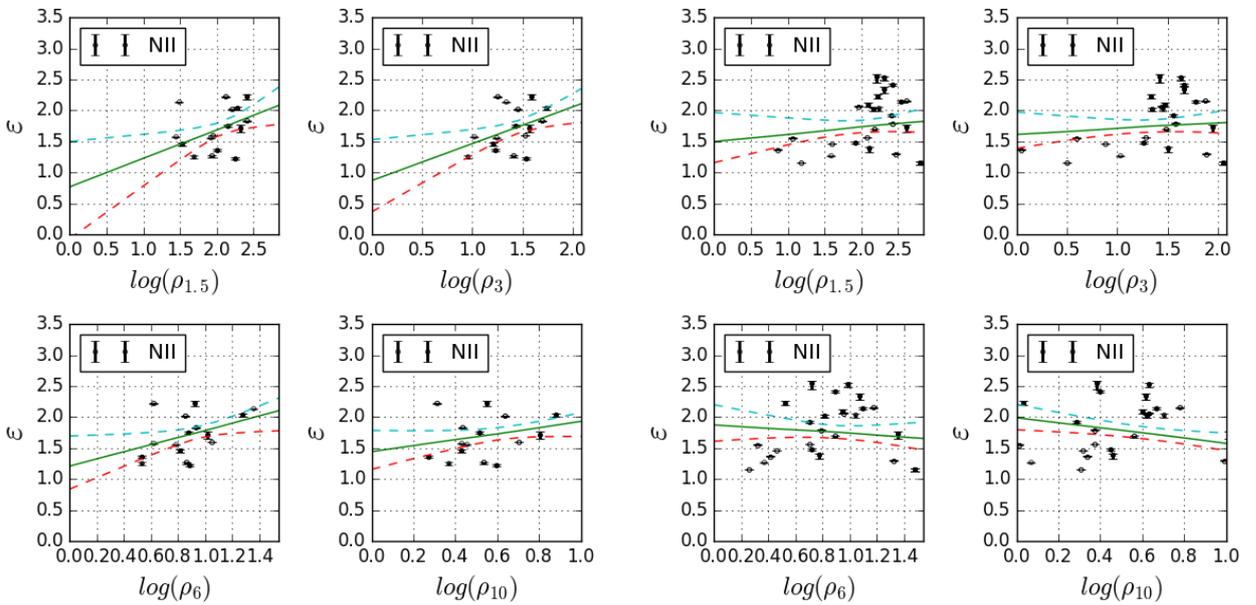


Figura 4.12: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) para  $[NII]\lambda 6583$  em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, apenas para Strong AGN e controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

Quando consideramos o excesso de velocidade em função da riqueza do grupo em que a galáxia

está (figura 4.13), o comportamento não é muito diferente da figura 4.8, com nenhuma subamostra mostrando correlação significativa e não havendo diferenças entre controles e Strong AGN. Contudo, os excessos de velocidade estão na mesma faixa de valores ( $1 < \epsilon < 2,5$ ), de forma que a diferença visual decorre da distribuição de valores do eixo horizontal (riqueza), a qual é apenas um artefato. Assim, mais uma vez vemos um comportamento idêntico entre galáxias ativas e de controle.

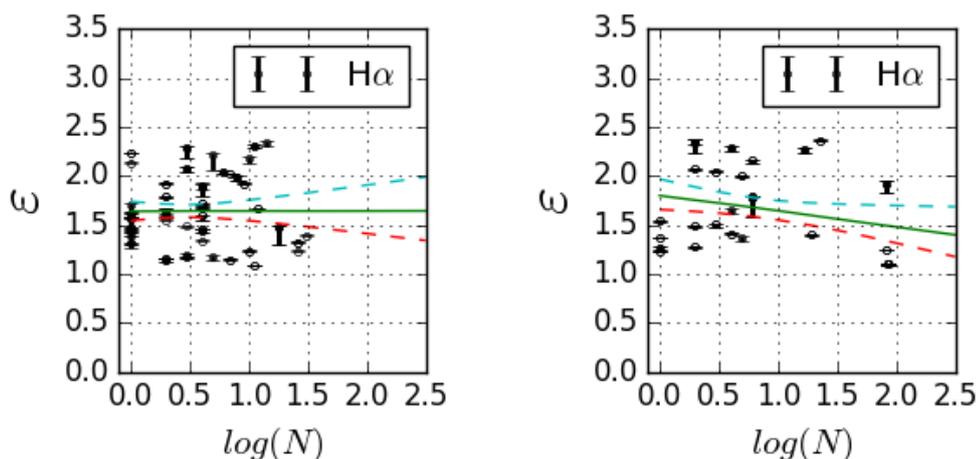


Figura 4.13: Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

A figura 4.14 mostra o excesso de velocidades medido para a linha  $H\alpha$  em função de  $\Delta v/\sigma$ . Não observamos diferenças significativas entre AGNs e controles.

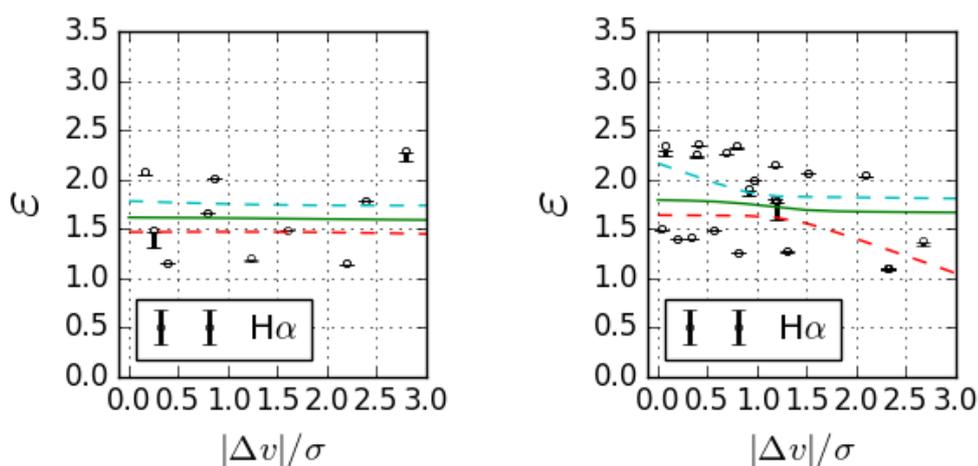


Figura 4.14: Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do módulo velocidade peculiar da galáxia no referencial do aglomerado, dividida pela dispersão de velocidade do aglomerado. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

## 4.2.2 Weak AGN

Consideramos nessa seção apenas os Weak AGNs. Apenas 37 dos 45 Weak AGNs da nossa amostra estavam presentes no catálogo, e, entre esses 37, apenas 12 tinham as duas galáxias de controle também no catálogo – o restante tinha apenas uma.

A figura 4.15 mostra os excessos de velocidade da linha de  $H\alpha$  em função da densidade, em todos os fatores de escala, para galáxias contendo Weak AGNs e para as galáxias de controle associadas. Tanto galáxias ativas quanto de controle apresentam uma queda semelhante em densidades mais altas, para todos os fatores de escala. Assim, não podemos apontar uma dependência ambiental da atividade nuclear nesse caso.

As figuras 4.16 e 4.17 representam as mesmas grandezas, porém para as linhas de  $[OIII]\lambda 5007$  e  $[NII]\lambda 6583$ , respectivamente. Para a linha de  $[NII]\lambda 6583$ , observamos um comportamento semelhante ao  $H\alpha$ .  $[OIII]\lambda 5007$  apresenta uma distribuição de pontos mais concentrada, o que leva a uma diferença aparente entre galáxias ativas e de controle: as galáxias ativas não apresentam correlação com a densidade, enquanto que as de controle apresentam um leve aumento para densidades maiores. Ainda assim, é possível que se trate de flutuações estatísticas.

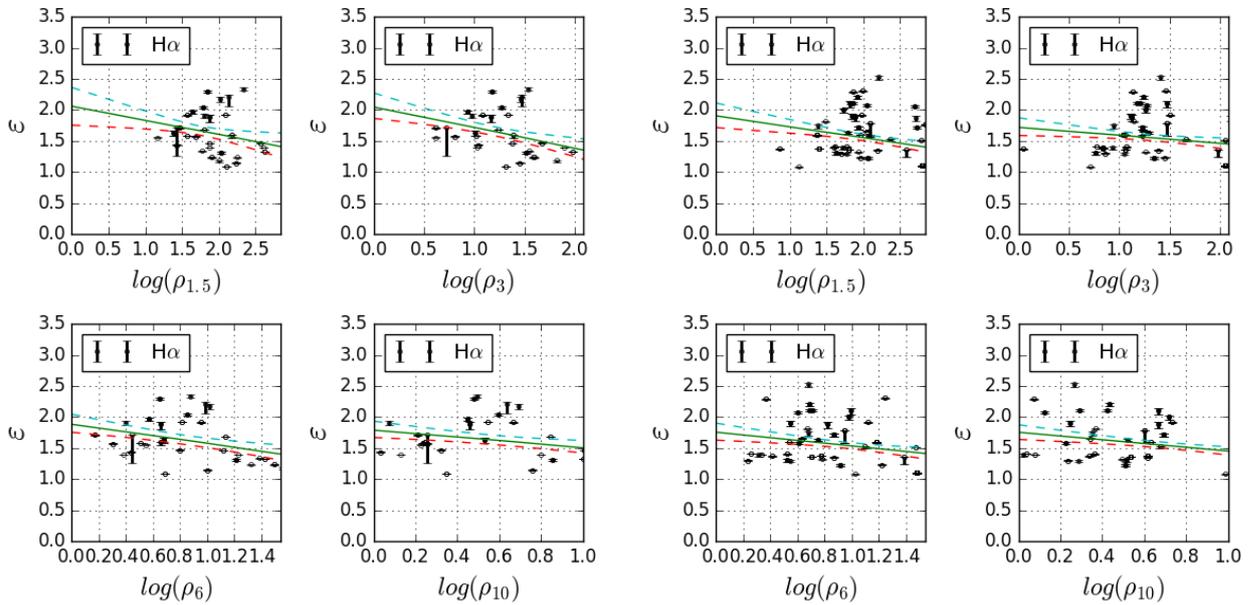


Figura 4.15: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) para  $H\alpha$  em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, apenas para Weak AGN e controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

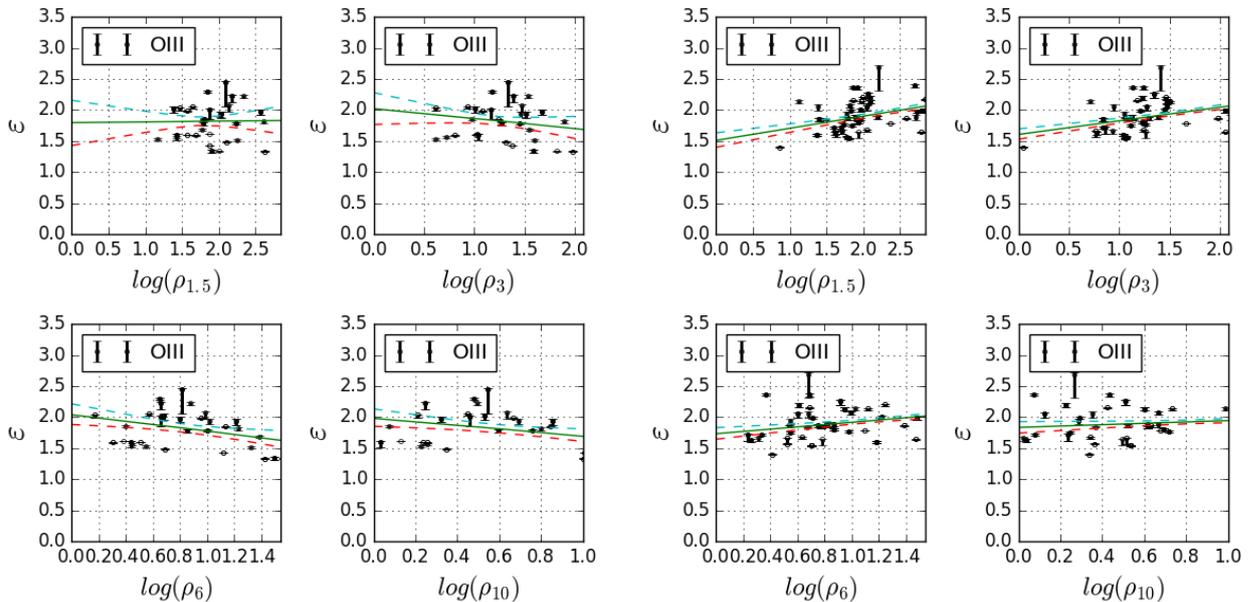


Figura 4.16: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) para  $[OIII]\lambda 5007$  em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, apenas para Weak AGN e controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

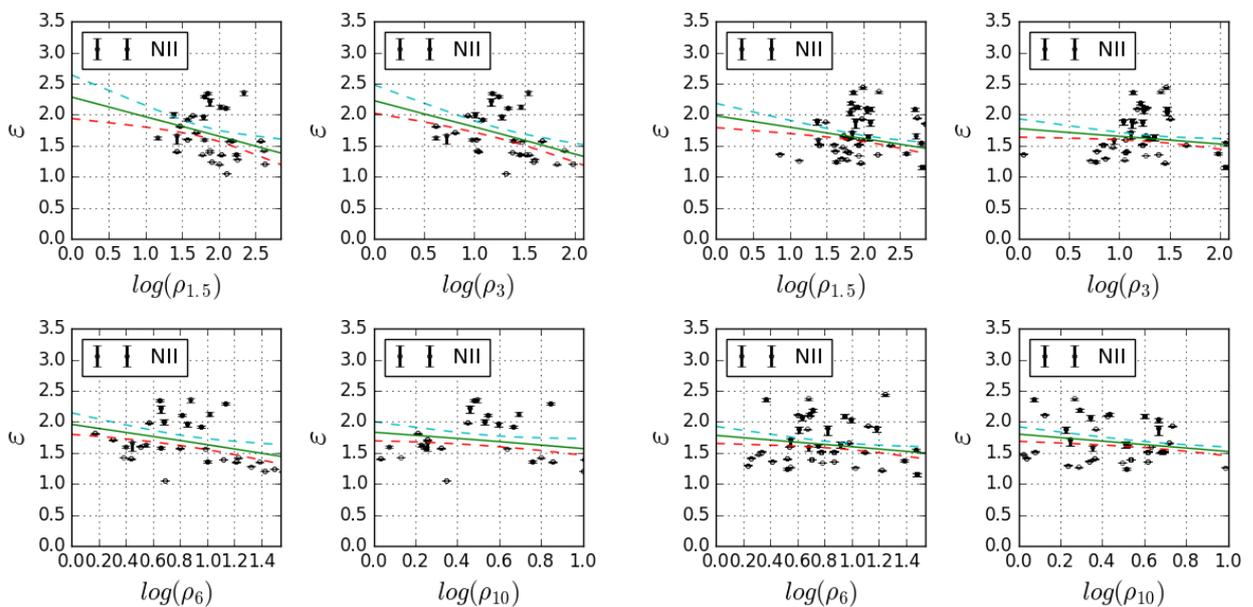


Figura 4.17: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) para  $[NII]\lambda 6583$  em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, apenas para Weak AGN e controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

As figuras 4.18 e 4.19 mostram, respectivamente, os excessos de velocidade de  $H\alpha$  em função da

riqueza do aglomerado e em função da velocidade da galáxia no referencial do centro do aglomerado. As galáxias de controle apresentam uma queda de  $\epsilon$  para grupos de riqueza maior, porém não temos objetos em grupos de riqueza similar na amostra de galáxias ativas, de forma que não podemos fazer afirmações em relação à dependência ambiental da atividade nuclear nesse caso. Quando consideramos  $\epsilon$  em função da velocidade da galáxia no referencial do aglomerado, tanto a amostra de controle quanto a amostra de galáxias ativas apresentam comportamentos idênticos.

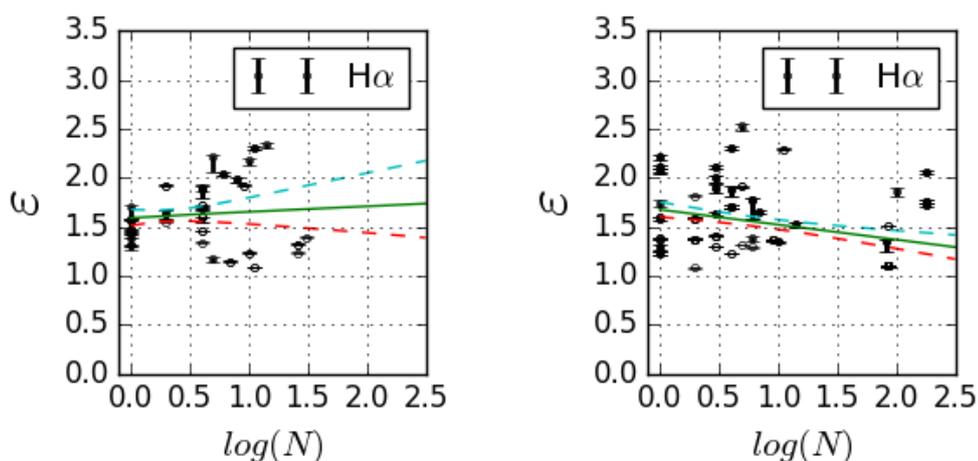


Figura 4.18: Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado, apenas para Weak AGNs e galáxias de controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

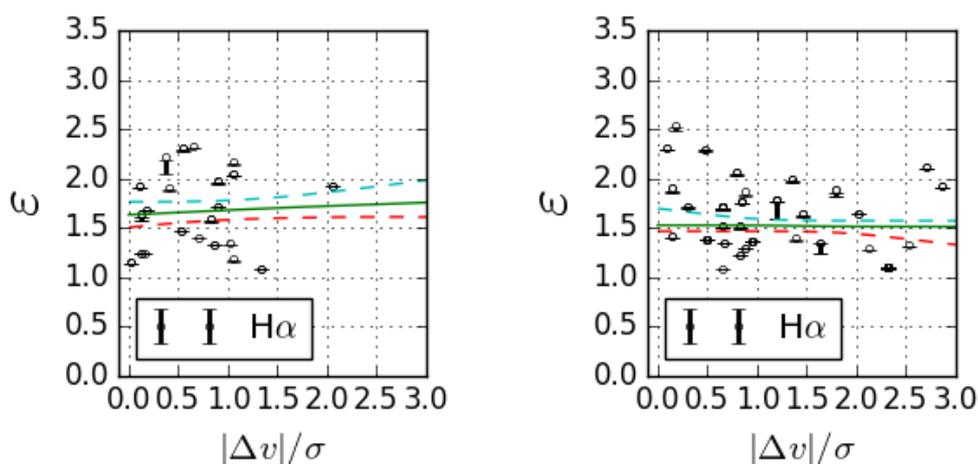


Figura 4.19: Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função da velocidade da galáxia na linha de visada no referencial do aglomerado, dividida pela dispersão de velocidade do aglomerado, apenas para hospedeiras de Weak AGN e galáxias de controle associadas. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

Os resultados dessa subseção e da subseção anterior sugerem que a ocorrência de movimentos não-circulares de gás em galáxias, quando medidas ao longo de toda sua extensão física, são pouco dependentes da riqueza ou do grau de virialização da população no grupo ao qual pertencem. Em relação à densidade local, observamos uma fraca correlação positiva com  $\epsilon$  para Strong AGN, e uma anti-correlação para Weak AGN. Isso indica que movimentos não-circulares de gás são marginalmente mais importantes em regiões de alta densidade para Strong AGNs, enquanto que o contrário ocorre para Weak AGNs. No entanto, movimentos não-circulares de gás galáxias ativas e não-ativas respondem em geral de maneira semelhante às propriedades ambientais.

### 4.2.3 Cinemática da região central

Nas seções e subseções anteriores, investigamos movimentos não-circulares em toda a extensão das galáxias da amostra. Nessa seção, vamos verificar se os resultados obtidos diferem se analisamos apenas a região mais central. Por simplicidade, selecionamos apenas o percentil 10% dos pixels mais próximos ao núcleo de cada galáxia, o que corresponde a aproximadamente um terço da extensão física total dos cubos de dados. Esse valor foi escolhido por representar o maior corte em distância radial que ainda preserva um número grande o suficiente de pixels para o cálculo dos excessos de velocidade. Os excessos de velocidade  $\epsilon$  assim obtidos enfatizam movimentos não-circulares de gás próximos ao núcleo.

Mais uma vez, começamos analisando os excessos de velocidade em função das densidades luminosas. As figuras 4.20, 4.21 e 4.22 representam, respectivamente, as mesmas grandezas que as figuras 4.5, 4.6 e 4.7, porém calculadas apenas para a região que estamos considerando nessa subseção. Quando consideramos apenas a região central, as correlações se tornam mais sutis e não há diferenças estatisticamente significativas entre galáxias ativas e de controle.

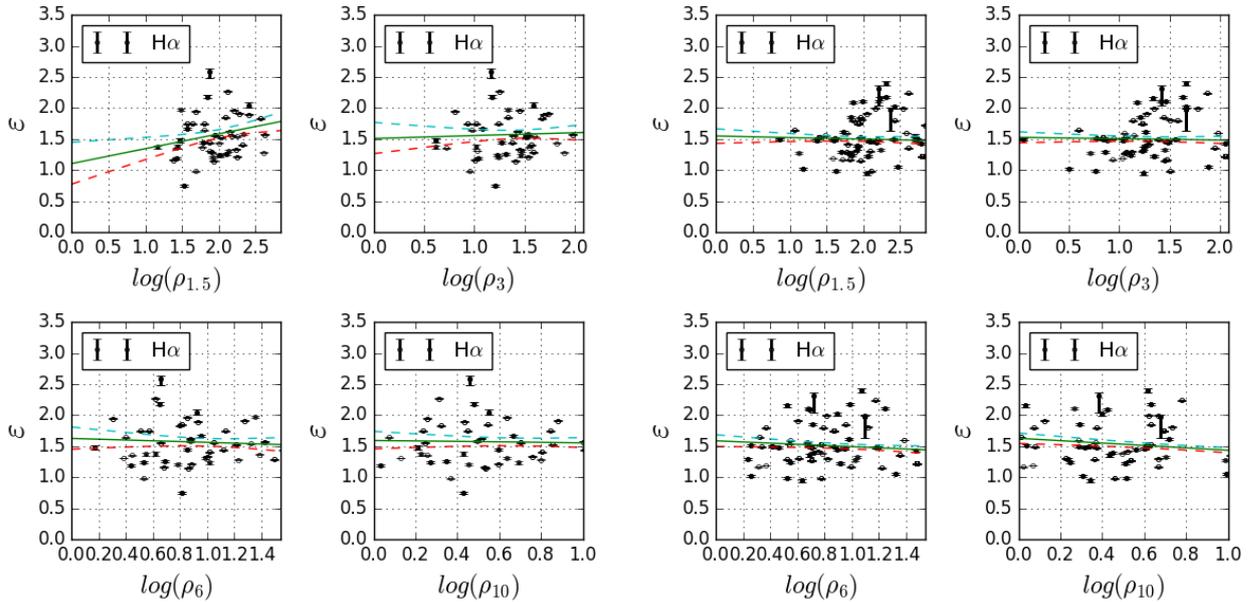


Figura 4.20: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, para  $H\alpha$ . Excessos calculados apenas para os 10% dos pixels mais centrais de cada cubo de dados. À esquerda, as galáxias ativas e, à direita, as de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

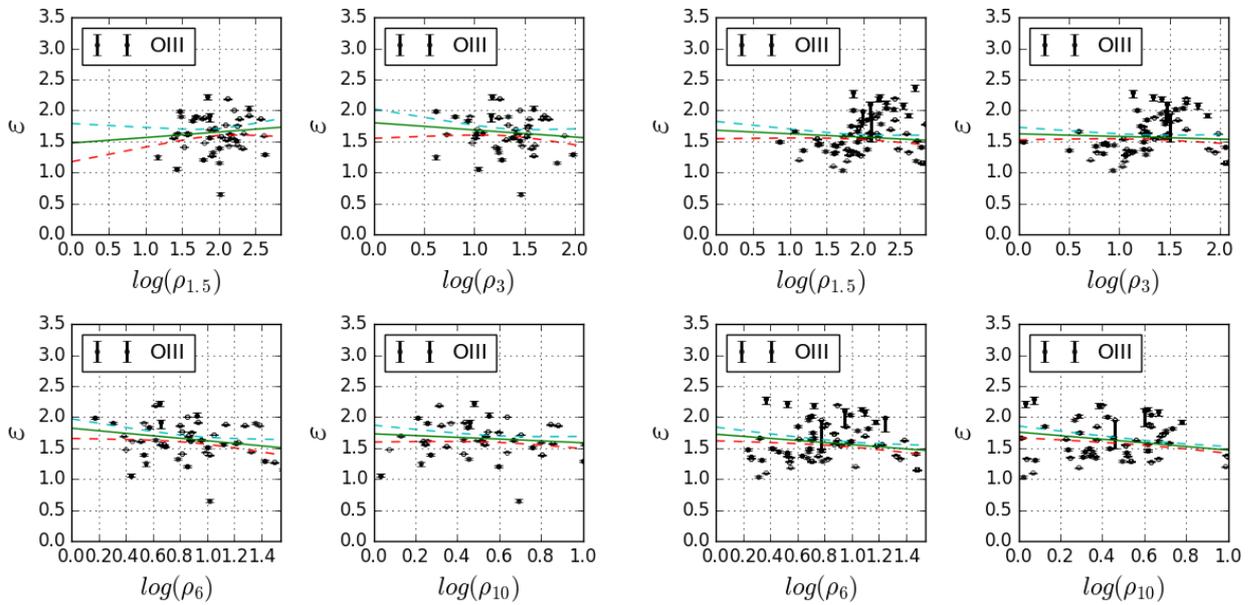


Figura 4.21: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, para  $[OIII]\lambda 5007$ . Excessos calculados apenas para os 10% dos pixels mais centrais de cada cubo de dados. À esquerda, as galáxias ativas e, à direita, as de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

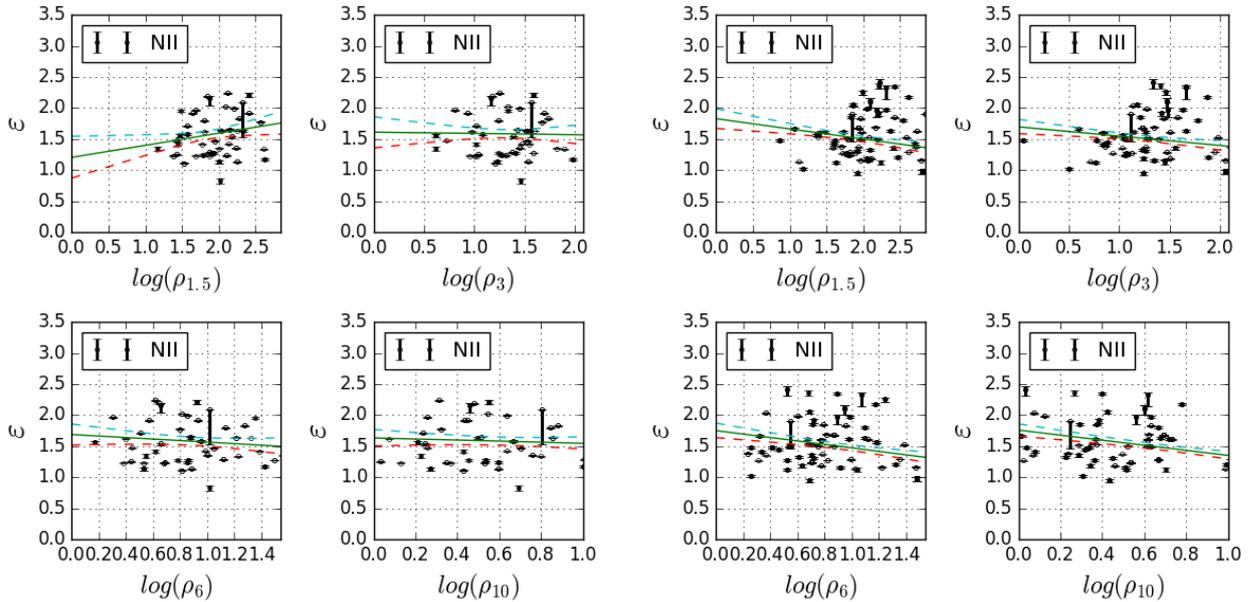


Figura 4.22: Distribuição do excesso de velocidades na linha de visada ( $\epsilon$ ) em função da da densidade ( $\rho$ ) nos quatro fatores de escala, para  $[\text{NII}]\lambda 6583$ . Excessos calculados apenas para os 10% dos pixels mais centrais de cada cubo de dados. À esquerda, as galáxias ativas e, à direita, as de controle. Os símbolos são os mesmos da figura 4.5.

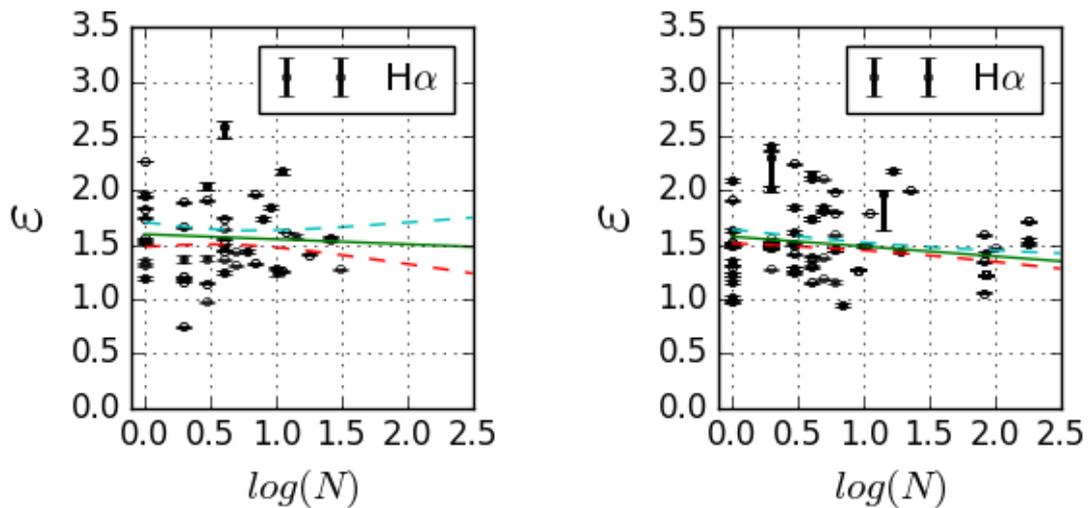


Figura 4.23: Excesso de velocidades ( $\text{H}\alpha$ ) em função do logaritmo da riqueza do aglomerado. Excessos calculados apenas para os 10% dos pixels mais centrais de cada cubo de dados. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

As figuras 4.23 e 4.24 consideram as mesmas grandezas que as figuras 4.8 e 4.9, respectivamente, porém apenas para a região central. Novamente, não observamos correlação na riqueza ou na velocidade da galáxia na linha de visada.

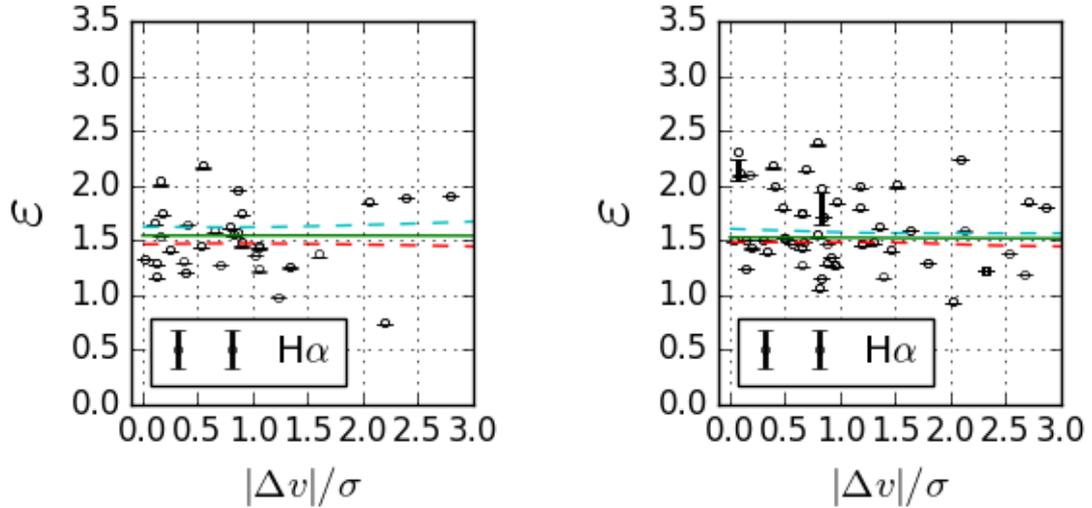


Figura 4.24: Excesso de velocidades ( $H\alpha$ ) em função do módulo velocidade peculiar da galáxia no referencial do aglomerado, dividida pela dispersão de velocidade do aglomerado. 10% ou menos do raio máximo da imagem. À esquerda, as galáxias ativas. À direita, a amostra de controle.

Ao analisarmos a região central das galáxias da nossa amostra, nossos resultados sugerem que os movimentos não-circulares de gás na região mais central das galáxias é praticamente independente do ambiente, e indistinguíveis em galáxias ativas e não-ativas.

### 4.3 Discussão

Para melhor analisarmos os resultados, foram realizados testes de correlação Spearman entre  $\epsilon$  e todos os parâmetros ambientais considerados nesse estudo, em todos os fatores de escala e para todas as sub-amostras. Os resultados para a amostra completa de AGN e de controle foram condensados na tabela 4.1, enquanto que a tabela 4.2 apresenta os resultados para Strong AGNs (e controles associados), a tabela 4.3 apresenta os resultados para os Weak AGNs (e controles associados) e a tabela 4.4 apresenta os resultados para a amostra completa, porém com  $\epsilon$  calculado apenas para a região central.

Em sua maior parte, a significância estatística (valor-P) dos testes é baixa demais para podermos fazer alguma afirmação estatisticamente válida. Há casos em que a significância se aproxima de 1, como  $\epsilon$  ( $H\alpha$ ) para a amostra completa de AGNs, porém, nesses casos, o coeficiente de Spearman aponta uma correlação muito baixa.

Os resultados desse capítulo sugerem que, quando analisadas globalmente e de forma qualitativa, galáxias ativas não apresentam dependência significativa de movimentos não circulares com as propriedades do ambiente. Porém, analisando separadamente Strong e Weak AGN, encontramos algumas tendências sutis. Strong AGN apresentam correlação positiva com a densidade ambiental, de forma que regiões mais densas estão associadas a uma maior contribuição de movimentos não circulares de

gás, enquanto em Weak AGN tais movimentos contribuem mais em regiões de baixa densidade.

Dessa forma, é provável que as tendências observadas estejam refletindo efeitos ambientais que, embora sejam intensas o suficiente para deixar uma assinatura na cinemática do gás, não estão diretamente associadas à atividade nuclear em galáxias, ou se o fazem é com muito baixa intensidade. Uma pista nessa direção é fornecida quando analisamos apenas movimentos não-circulares próximos da região central. As tendências observadas quando analisamos a cinemática global do gás praticamente desaparecem quando analisamos apenas as regiões centrais. Isso sugere que apenas o gás mais periférico das galáxias da amostra apresenta sensibilidade detectável à densidade ambiental. Em fenômenos como *tidal stripping*, de fato a intensidade da perturbação produzida no gás depende da distância radial analisada, sendo mais intensa em regiões mais distantes do núcleo da galáxia (Read et al., 2006).

É possível, portanto, que inexista dependência ambiental direta sobre o fenômeno AGN nas escalas em que estamos analisando, o que concorda com os resultados de Martini et al (2003) e Pimblett et al. (2012). Nossa metodologia, no entanto, está restrita a uma caracterização ambiental que não tem correlação direta com a presença de companheiras próximas. Assim, nossos resultados seriam idênticos se a atividade nuclear for induzida, por exemplo, por encontros intensos com uma galáxia vizinha. Da mesma forma, se a intensidade dos movimentos não-circulares induzidos pelo ambiente e que tem ligação com a atividade nuclear for muito baixa – seja por uma quantidade de gás relativamente pequena, seja pela forma como esse movimento acontece –, não seria possível identificar suas assinaturas em um único parâmetro como o excesso de velocidades  $\epsilon$  que introduzimos. Portanto, embora nossos resultados indiquem que o ambiente tem pouco impacto direto sobre a ocorrência da atividade nuclear, é necessário uma amostra maior de galáxias e uma análise detalhada dos mapas de velocidade de cada objeto para tornarmos nossas conclusões mais robustas. Um aprimoramento dos modelos cinemáticos também pode contribuir para a obtenção de resultados mais conclusivos.

Linha de emissão	Par. Ambiental	Coef. Spearman AGN	Valor-p AGN	Coef. Spearman CS	Valor-p CS
H $\alpha$	$\rho_{1.5}$	-0.0212	0.853	-0.184	0.0122
H $\alpha$	$\rho_3$	-0.1325	0.2445	-0.1218	0.0986
H $\alpha$	$\rho_6$	-0.1279	0.2614	-0.2367	0.0012
Ha	$\rho_{10}$	-0.0591	0.6049	-0.295	0.0
OIII	$\rho_{1.5}$	0.1455	0.2008	0.5017	0.0
OIII	$\rho_3$	-0.0421	0.7127	0.5164	0.0
OIII	$\rho_6$	-0.1247	0.2734	0.3267	0.0
OIII	$\rho_{10}$	-0.0891	0.435	0.1495	0.0423
NII	$\rho_{1.5}$	-0.0974	0.3933	-0.1659	0.024
NII	$\rho_3$	-0.2268	0.0444	-0.1092	0.1389
NII	$\rho_6$	-0.1697	0.1348	-0.2102	0.0041
NII	$\rho_{10}$	-0.0924	0.4182	-0.3289	0.0
H $\alpha$	Riqueza	0.0313	0.784	-0.2632	0.0003
H $\alpha$	$\Delta v/\sigma$	0.0002	0.9991	-0.4007	0.0

Tabela 4.2: Teste de correlação Spearman entre  $\epsilon$  e diferentes parâmetros ambientais para as três linhas de emissão, considerando a amostra completa de AGNs e galáxias de controle.

Linha de emissão	Par. Ambiental	Coef. Spearman AGN	Valor-p AGN	Coef. Spearman CS	Valor-p CS
H $\alpha$	$\rho_{1.5}$	0.4091	0.0306	-0.0706	0.6119
H $\alpha$	$\rho_3$	0.4552	0.0149	-0.1348	0.3313
H $\alpha$	$\rho_6$	0.3531	0.0653	-0.1249	0.3683
H $\alpha$	$\rho_{10}$	0.2867	0.1392	-0.2037	0.1395
OIII	$\rho_{1.5}$	0.5349	0.0034	0.3523	0.009
OIII	$\rho_3$	0.5178	0.0048	0.3281	0.0154
OIII	$\rho_6$	0.3575	0.0618	0.2902	0.0333
OIII	$\rho_{10}$	0.3394	0.0773	0.1875	0.1746
NII	$\rho_{1.5}$	0.4426	0.0183	-0.0613	0.6594
NII	$\rho_3$	0.4338	0.0211	-0.1083	0.4355
NII	$\rho_6$	0.3449	0.0723	-0.1202	0.3866
NII	$\rho_{10}$	0.2554	0.1897	-0.2098	0.1279
H $\alpha$	Riqueza	-0.0797	0.687	-0.2205	0.1091
H $\alpha$	$\Delta v/\sigma$	-0.1291	0.5572	-0.4716	0.0009

Tabela 4.3: Teste de correlação Spearman entre  $\epsilon$  e diferentes parâmetros ambientais para as três linhas de emissão, considerando a amostra de Strong AGNs e galáxias de controle associadas.

Linha de emissão	Par. Ambiental	Coef. Spearman AGN	Valor-p AGN	Coef. Spearman CS	Valor-p CS
H $\alpha$	$\rho_{1.5}$	-0.3181	0.0229	-0.2617	0.0025
H $\alpha$	$\rho_3$	-0.4067	0.0031	-0.1262	0.1509
H $\alpha$	$\rho_6$	-0.3619	0.0091	-0.272	0.0017
H $\alpha$	$\rho_{10}$	-0.2618	0.0635	-0.2916	0.0007
OIII	$\rho_{1.5}$	-0.0304	0.8321	0.536	0.0
OIII	$\rho_3$	-0.2024	0.1544	0.5568	0.0
OIII	$\rho_6$	-0.3007	0.032	0.3588	0.0
OIII	$\rho_{10}$	-0.2739	0.0518	0.1973	0.0239
NII	$\rho_{1.5}$	-0.3821	0.0057	-0.2583	0.0029
NII	$\rho_3$	-0.4927	0.0002	-0.1383	0.1151
NII	$\rho_6$	-0.3918	0.0045	-0.2355	0.0068
NII	$\rho_{10}$	-0.2682	0.0571	-0.3316	0.0001
H $\alpha$	Riqueza	0.0473	0.7415	-0.2834	0.001
H $\alpha$	$\Delta v/\sigma$	0.1811	0.2698	-0.3541	0.0002

Tabela 4.4: Teste de correlação Spearman entre  $\epsilon$  e diferentes parâmetros ambientais para as três linhas de emissão, considerando a amostra de Weak AGNs e galáxias de controle associadas.

Linha de emissão	Par. Ambiental	Coef. Spearman AGN	Valor-p AGN	Coef. Spearman CS	Valor-p CS
H $\alpha$	$\rho_{1.5}$	0.2307	0.0408	-0.1282	0.082
H $\alpha$	$\rho_3$	0.0713	0.5323	-0.1214	0.0998
H $\alpha$	$\rho_6$	-0.01	0.9301	-0.1617	0.0278
H $\alpha$	$\rho_{10}$	0.0168	0.8831	-0.1768	0.0161
OIII	$\rho_{1.5}$	0.0869	0.4464	-0.0916	0.2149
OIII	$\rho_3$	-0.0855	0.454	-0.0475	0.5207
OIII	$\rho_6$	-0.1829	0.1066	-0.1714	0.0197
OIII	$\rho_{10}$	-0.124	0.2763	-0.2973	0.0
NII	$\rho_{1.5}$	0.1988	0.0791	-0.2335	0.0014
NII	$\rho_3$	0.0345	0.7626	-0.2013	0.006
NII	$\rho_6$	-0.051	0.6554	-0.2571	0.0004
NII	$\rho_{10}$	-0.0048	0.9667	-0.3238	0.0
H $\alpha$	Riqueza	-0.0283	0.8044	-0.1678	0.0224
H $\alpha$	$\Delta v/\sigma$	-0.0503	0.6979	-0.4467	0.0

Tabela 4.5: Teste de correlação Spearman entre  $\epsilon$  (região central) e diferentes parâmetros ambientais para as três linhas de emissão, considerando a amostra de completa de AGNs e galáxias de controle.

# Capítulo 5

## Conclusão

Nesse trabalho, quantificamos a ocorrência de movimentos não-circulares de gás em galáxias ativas e não ativas, usando espectroscopia de campo integral do levantamento SDSS-IV MaNGA, e verificamos como esses movimentos se relacionam com o ambiente no qual as galáxias se situam. Nossa amostra é constituída cento e setenta e uma galáxias, sendo sessenta e duas com um núcleo ativo e o restante de controle. Como parâmetro cinemático, calculamos um parâmetro que chamamos de “excesso de velocidades na linha de visada”, o qual é ponderado pelas incertezas nas medidas das velocidades das linhas de emissão que escolhemos. Comparamos o parâmetro cinemático com parâmetros ambientais obtidos do catálogo de Tempel et al. (2016). Os parâmetros ambientais que escolhemos foram: a densidade luminosa (em quatro fatores de escala), a riqueza do aglomerado e a velocidade da galáxia no referencial do aglomerado. Nossas principais conclusões são:

- Quando analisadas globalmente, galáxias ativas não apresentam dependência significativa de movimentos não circulares com as propriedades do ambiente.
- Quando analisamos separadamente Strong e Weak AGN, encontramos que Strong AGN apresentam correlação positiva com a densidade ambiental, de forma que regiões mais densas estão associadas a uma maior contribuição de movimentos não circulares de gás, enquanto em Weak AGN tais movimentos contribuem mais em regiões de baixa densidade.
- Para Strong e Weak AGN, há pouca diferença em termos da ocorrência de movimentos radiais e sua dependência ambiental quando comparamos o comportamento dos AGNs com seus respectivos controles.
- Quando analisamos apenas movimentos não-circulares próximos da região central, as tendências observadas na extensão física total das galáxias praticamente desaparecem, sugerindo que apenas o gás mais periférico das galáxias da amostra apresenta sensibilidade detectável à densidade ambiental.

- O ambiente parece ter pouco impacto direto sobre a ocorrência da atividade nuclear nas galáxias de nossa amostra, independentemente da luminosidade do AGN. Caso essa influência exista, é possível que não seja detectável com o nosso método ou dados que temos atualmente, ou então ainda é possível que, quando a atividade nuclear se inicia, a influência ambiental já não seja facilmente detectável.

Nossas conclusões, no entanto, estão limitadas pelo tamanho reduzido da nossa amostra. Além disso, toda a informação cinemática foi condensada em um único parâmetro estatístico, o que, embora torne a análise mais ágil, pode ser uma super-simplificação do fenômeno em estudo, além de ser dependente da qualidade dos modelos cinemáticos. Finalmente, os parâmetros ambientais estudados se referem a escalas relativamente grandes, de forma que é importante incluir parâmetros com sensibilidade mais localizada, como a ocorrência de companheiras próximas. Tais refinamentos serão implementados futuramente.

# Referências Bibliográficas

- BACON, R. et al. The SAURON project - I. The panoramic integral-field spectrograph. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 326, n. 1, p.23-35, set. 2001. Oxford University Press (OUP).
- BALDWIN, J. A.; PHILLIPS, M. M.; TERLEVICH, R.. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. **Publications Of The Astronomical Society Of The Pacific**, [s.l.], v. 93, p.5-19, fev. 1981.
- BELFIORE, Francesco et al. SDSS IV MaNGA – metallicity and nitrogen abundance gradients in local galaxies. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 469, n. 1, p.151-170, 1 abr. 2017.
- BUNDY, Kevin et al. Overview of the SDSS-IV MaNGA Survey: Mapping nearby Galaxies at Apache Point Observatory. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 798, n. 1, p.7-30, 10 dez. 2014.
- BRUZUAL, G.; CHARLOT, S.; Stellar population synthesis at the resolution of 2003. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v.344, p.1000-1028, 2003.
- CAPPELLARI, Michele et al. The ATLAS3D project - I. A volume-limited sample of 260 nearby early-type galaxies: science goals and selection criteria. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 413, n. 2, p.813-836, 4 mar. 2011. Oxford University Press (OUP).
- CID FERNANDES, R. et al. A comprehensive classification of galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: how to tell true from fake AGN?. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 413, n. 3, p.1687-1699, 1 mar. 2011.
- ELLISON, Sara L. et al. Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - IV. Interactions trigger active galactic nuclei. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 418, n. 3, p.2043-2053, 23 set. 2011.

- ELLISON, Sara L. et al. Discovery of a dual active galactic nucleus with  $\approx 8$  kpc separation. Eprint Arxiv:1705.05465, [s.l.], p.1-5, 17 maio 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1705.05465.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2017.
- FATH, Edward Arthur. The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters. **Lick Observatory Bulletins**, [s.l.], v. 5, p.71-77, 1909.
- GODDARD, D. et al. SDSS-IV MaNGA: Spatially resolved star formation histories in galaxies as a function of galaxy mass and type. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], stw3371-stw3398, 31 dez. 2016.
- KAUFFMANN, Guinevere et al. The host galaxies of active galactic nuclei. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 346, n. 4, p.1055-1077, dez. 2003. Oxford University Press (OUP).
- KAUFFMANN, Guinevere et al. The environmental dependence of the relations between stellar mass, structure, star formation and nuclear activity in galaxies. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 353, n. 3, p.713-731, 23 ago. 2004.
- KOLLATSCHNY, W.; REICHSTEIN, A.; ZETZL, M.. The environment of AGNs and the activity degree of their surrounding galaxies. **Astronomy & Astrophysics**, [s.l.], v. 548, p.37-45, 16 nov. 2012.
- ILHA, Gabriele S. **A Emissão do Gás em uma Amostra de AGNs do Projeto MaNGA**. 2015, 58f. Trabalho final de Graduação (Bacharelado em Física)– Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2015.
- LAURIKAINEN, E.; SALO, H. Environments of Seyfert galaxies. II. Statistical analyses. **Astronomy and Astrophysics**, v. 293, p.683-702, jan. 1995.
- MARTINI, Paul. Why does low-luminosity AGN fueling remain an unsolved problem? **Proceedings Of The International Astronomical Union**, [s.l.], v. 2004, n. 222, p.235-241, mar. 2004.
- MARTINI, Paul et al. Spectroscopic Confirmation of a Large Population of Active Galactic Nuclei in Clusters of Galaxies. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 644, n. 1, p.116-132, 10 jun. 2006.
- MARTINI, Paul et al. The Cluster and Field Galaxy Active Galactic Nucleus Fraction at  $z = 1-1.5$ : Evidence for a Reversal of the Local Anticorrelation between Environment and AGN Fraction. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 768, n. 1, 14 pp., 8 abr. 2013.
- MILLER, Christopher J. et al. The Environment of Active Galactic Nuclei in the Sloan Digital Sky Survey. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 597, n. 1, p.142-156, nov. 2003.

- PIMBBLET, K. A. et al. The drivers of AGN activity in galaxy clusters: AGN fraction as a function of mass and environment. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 429, n. 2, p.1827-1839, 20 dez. 2012.
- POPESSO, P.; BIVIANO, A.. The AGN fraction–velocity dispersion relation in clusters of galaxies. **Astronomy & Astrophysics**, [s.l.], v. 460, n. 2, p.L23-L26, 2 nov. 2006.
- READ, J. I. et al. The tidal stripping of satellites. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 366, n. 2, p.429-437, 21 fev. 2006.
- REINES, Amy E.; VOLONTERI, Marta. Relations between Central Black Hole Mass and Total Galaxy Stellar Mass in the Local Universe. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 813, n. 2, p.82-94, 29 out. 2015.
- REMBOLD, Sandro Barboza et al. The first 62 AGN observed with SDSS-IV MaNGA: definition and characterization of a control sample. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**. [s.l., aceito para publicação].
- SABATER, J.; BEST, P. N.; ARGUDO-FERNANDEZ, M.. Effect of the interactions and environment on nuclear activity. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 430, n. 1, p.638-651, 17 jan. 2013.
- SÁNCHEZ, S. F. et al. CALIFA, the Calar Alto Legacy Integral Field Area survey. **Astronomy & Astrophysics**, [s.l.], v. 538, p.A8-A38, 26 jan. 2012.
- SARZI, M. et al. The SAURON project–V. Integral-field emission-line kinematics of 48 elliptical and lenticular galaxies. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 366, n. 4, p.1151-1200, 11 mar. 2006.
- SATYAPAL, S. et al. Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - IX. Merger-induced AGN activity as traced by the Wide-field Infrared Survey Explorer. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 441, n. 2, p.1297-1304, 5 maio 2014.
- SDSS COLLABORATION et al. The Thirteenth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-IV Survey MAPPING Nearby Galaxies at Apache Point Observatory. 2016, arXiv:1608.02013
- SELLWOOD, J. A.; SÁNCHEZ, Ricardo Zánmar. Quantifying non-circular streaming motions in disc galaxies. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 404, p.1733-1744, mar. 2010.

- SEYFERT, Carl K.. Nuclear Emission in Spiral Nebulae. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 97, p.28-41, jan. 1943.
- SPEKKENS, Kristine; SELLWOOD, J. A.. Modeling Noncircular Motions in Disk Galaxies: Application to NGC 2976. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 664, n. 1, p.204-214, 20 jul. 2007.
- TEMPEL, E. et al. Merging groups and clusters of galaxies from the SDSS data. **Astronomy & Astrophysics**, [s.l.], v. 602, A100, jun. 2017.
- THOMAS, D. et al. Stellar velocity dispersions and emission line properties of SDSS-III/BOSS galaxies. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], v. 431, n. 2, p.1383-1397, 12 mar. 2013.
- TURNER, E. L.; GOTT, J. R. III. Groups of galaxies. I. A catalogue. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, [s.l.], v. 32, p.409-427, nov. 1976.
- WYLEZALEK, Dominika et al. Zooming into local active galactic nuclei: The power of combining SDSS-IV MaNGA with higher resolution integral field unit observations. **Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society**, [s.l.], p.2612-2624, 28 jan. 2017.
- YOON, Hyein et al. A History of H I Stripping in Virgo: A Phase-space View of VIVA Galaxies. **The Astrophysical Journal**, [s.l.], v. 838, n. 2, p.81-96, 29 mar. 2017