

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA

Gabriele da Silva Ilha

**OS PRIMEIROS 62 AGNS OBSERVADOS COM O SDSS-IV MANGA:
CINEMÁTICA ESTELAR E DO GÁS**

Santa Maria, RS
2018

Gabriele da Silva Ilha

OS PRIMEIROS 62 AGNS OBSERVADOS COM O SDSS-IV MANGA: CINEMÁTICA ESTELAR E DO GÁS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Concentração em Astronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Física**.

ORIENTADOR: Prof. Rogemar A. Riffel

Santa Maria, RS
2018

Ilha, Gabriele da Silva

Os primeiros 62 AGNS observados com o SDSS-IV MANGA: cinemática estelar e do gás / Gabriele da Silva Ilha.- 2018.

59 f.; 30 cm

Orientador: Rogemar André Riffel

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Física, RS, 2018

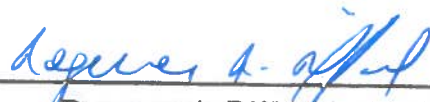
1. Galáxias ativas 2. AGN 3. Cinemática I. Riffel, Rogemar André II. Título.

Gabriele da Silva Ilha

OS PRIMEIROS 62 AGNS OBSERVADOS COM O SDSS-IV MANGA: CINEMÁTICA ESTELAR E DO GÁS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Concentração em Astronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Física.

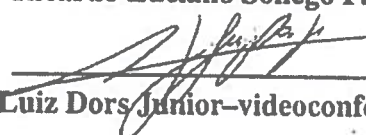
Aprovado em 25 de julho de 2018:



Rogemar A. Riffel, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Ricardo Luciano Sonogo Farias, Dr. (UFSM)



Oli Luiz Dors Junior–videoconferência, Dr. (UNIVAP)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

- *Ao Rogemar pela orientação.*
- *Aos demais colaboradores desse trabalho e do artigo resultante.*
- *Ao grupo de astrofísica da UFSM.*
- *Ao Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia pela possibilidade de fazer parte do “Brazilian Participation Group” do Sloan Digital Sky Survey-IV.*
- *À CAPES pelo apoio financeiro.*

RESUMO

OS PRIMEIROS 62 AGNS OBSERVADOS COM O SDSS-IV MANGA: CINEMÁTICA ESTELAR E DO GÁS

AUTORA: Gabriele da Silva Ilha
ORIENTADOR: Rogemar A. Riffel

Galáxias ativas apresentam uma grande luminosidade na região central que não pode ser explicada apenas pela emissão das estrelas da galáxia, mas sim pela presença de um núcleo ativo (AGN). Nesse cenário, a energia potencial gravitacional é transformada em energia luminosa durante a acreção de matéria por um buraco negro supermassivo, no chamado disco de acreção, que está cercado por um toroide de gás e poeira. Os *outflows* de gás que são gerados pelo disco de acreção podem ser observados na região de linhas estreitas. Os *outflows* podem ter um importante impacto na galáxia hospedeira do núcleo ativo. Neste trabalho analisamos o impacto do *feedback* do AGN na cinemática do gás de uma amostra de 62 galáxias ativas. Para isso comparamos a cinemática da galáxia ativa com duas galáxias inativas que apresentam as mesmas características da galáxia hospedeira do núcleo ativo, ou seja, mesma massa estelar, *redshift*, morfologia e inclinação. A amostra de galáxias inativas (controles) têm 109 galáxias. Os objetos da nossa amostra foram observados com espectroscopia de campo integral pelo telescópio Sloan de 2.5 metros dentro do MaNGA *survey* que faz parte do SDSS-IV. Realizamos o ajuste dos espectros das galáxias observadas usando a rotina *Gas AND Absorption Line Fitting*, obtendo dessa forma campos velocidades estelares e do gás, dispersão de velocidades e a emissão do gás. Através dos campos de velocidades determinamos o ângulo de posição (PA) cinemático, com o objetivo de estudar o impacto do *feedback* do AGN em uma escala galáctica. Usamos a dispersão de velocidades estelar e do gás para analisar os *outflows* em uma escala menor $\sim 2\text{kpc}$. Ao comparar a diferença entre a orientação do PA dos campos de velocidades estelares e do gás para as duas amostras, nós não encontramos nenhuma diferença clara entre as distribuições. Por outro lado, os AGNs têm maior diferença de dispersão de velocidades fracional σ_{frac} entre o gás e as estrelas quando comparados com os controles. Sendo que o valor médio de σ_{frac} para AGNs e controles é $\langle \sigma_{frac} \rangle_{AGN} = 0.04$ e $\langle \sigma_{frac} \rangle_{CTR} = -0.23$, respectivamente. Logo, σ_{frac} pode ser um indicativo da presença de AGN. Além disso, achamos uma correlação positiva entre a luminosidade do $[\text{O III}]\lambda 5007$ e σ_{frac} para nossa amostra. A nossa principal conclusão nessa trabalho é que os *outflows* observados para os AGNs da nossa amostra não são intensos para interferir na cinemática da galáxia hospedeira em uma larga escala, mas apresentam uma contribuição importante em uma escala de $\sim 2\text{kpc}$.

Palavras-chave: galáxias: ativo - galáxias: cinemática e dinâmica - galáxias: geral.

ABSTRACT

THE FIRST 62 AGN OBSERVED WITH SDSS-IV MANGA: STELLAR AND GAS KINEMATICS

AUTHOR: Gabriele da Silva Ilha

ADVISOR: Rogemar A. Riffel

Active galaxies exhibit a great luminosity in central region that can not be explained only by the emission of the stars of the galaxy, but by the presence of an active galactic nucleus (AGN). In this scenario, gravitational potential energy is transformed into light energy during accretion of matter by a supermassive black hole on the so-called accretion disk, which is surrounded by a torus of gas and dust. The gas outflows are generated by the accretion disk and can be observed in the narrow-line region. Outflows can have an important impact on the host galaxy of the active nucleus. In this work, we have analyzed the impact of AGN feedback on the gas kinematics of a sample of 62 active galaxies. For this we have compared the kinematics of the active galaxy with two inactive galaxies that present the same characteristics of the host galaxy of the active nucleus, in other words, the same stellar mass, redshift, morphology and inclination. The sample of inactive galaxies (controls) have 109 galaxies. The objects of our sample were observed with integral field spectroscopy by the 2.5 meter Sloan telescope within the MaNGA survey that is part of SDSS-IV. We have performed the fitting of the galaxies observed spectra using the Gas AND Absorption Line Fitting routine, and have obtained the stellar and gas velocities fields, velocity dispersion and gas emission. Through the velocity fields we have determined the kinematic position angle (PA), in order to study the impact of AGN feedback on a galactic scale. We used the stellar velocity and gas dispersion to analyze the outflows on a smaller scale $\sim 2\text{kpc}$. Comparing the difference between the PA orientation of the stellar velocity fields and the gas for the two samples, we found no clear difference between the distributions. On the other hand, the AGNs have greater difference in the fractional velocity dispersion σ_{frac} between the gas and the stars when compared with controls. The mean value of σ_{frac} for AGNs and controls is $\langle \sigma_{frac} \rangle_{AGN} = 0.04$ and $\langle \sigma_{frac} \rangle_{CTR} = -0.23$, respectively. Therefore, σ_{frac} may be indicative of the presence of AGN. In addition, we found a positive correlation between the $[\text{O III}]\lambda 5007$ luminosity and σ_{frac} for our sample. Our main conclusion in this work is that the outflows observed for the AGNs of our sample are not intense to interfere with the kinematics of the host galaxy on a large scale, but they have an important contribution on $\sim 2\text{kpc}$ scale.

Keywords: galaxies: active – galaxies: kinematics and dynamics – galaxies: general.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Representação do modelo unificado dos AGNs.	12
Figura 1.2 – Imagem composta do grupo de galáxias MS0735.6+7421	14
Figura 1.3 – <i>Outflows</i> na galáxia Akira protótipo das <i>Red Geysers</i> visto com SDSS-MaNGA e Gemini	16
Figura 2.1 – Espectro extraído da região central da galáxia <i>mangaid</i> 1-94784 mostrando a cobertura espectral dos dados do MaNGA	19
Figura 2.2 – Imagens compostas em três cores das banda g-r-i do SDSS de três galáxias observadas pelo MaNGA <i>survey</i>	20
Figura 2.3 – Resultados obtidos com os dados do MaNGA <i>survey</i>	21
Figura 2.4 – Resultados obtidos com os dados do MaNGA <i>survey</i>	22
Figura 2.5 – Representação das IFUs com diferentes números de fibras.	24
Figura 3.1 – Diagramas BPT e WHAN usados na seleção da amostra	28
Figura 3.2 – Distribuições de <i>redshift</i> , massa estelar, magnitude absoluta na banda-r e luminosidade do oxigênio duas vezes ionizado para as amostras de controle e AGN	30
Figura 3.3 – Imagem de contínuo da galáxia <i>mangaid</i> 1-279666 antes da filtragem, após a filtragem e a razão entre eles para diferentes frequências de corte e ordem do filtro.	33
Figura 3.4 – Mapas de emissão para todas as linhas de emissão ajustadas usando a rotina GANDALF e emissão do contínuo	35
Figura 3.5 – Campos de velocidades para todas as linhas de emissão ajustadas usando a rotina GANDALF e campo de velocidades estelar	36
Figura 3.6 – Dispersão de velocidades para todas as linhas de emissão ajustadas usando a rotina GANDALF e dispersão de velocidades estelar	36
Figura 3.7 – Exemplo de aplicação do <i>kinemetry</i> para galáxias observadas pelo SAURON	38
Figura 3.8 – Campos de velocidades observados e simetrizados para a galáxia <i>mangaid</i> 1-166919.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características das IFUs do MaNGA	24
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AGB *Asymptotic Giant Branch*
- AGN *Active Galactic Nucleus* ou Núcleo Galáctico Ativo
- BCG *Brightest Cluster Galaxy*
- BLR *Broad Line Region* ou Região de Linhas Largas
- BLRGs *Broad-Line Radio Galaxies*
- BNS Buraco Negro Supermassivo
- BOSS *Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*
- CCD *Charge-Coupled Device*
- DAP *Data Analysis Pipeline*
- FWHM *Full Width at Half Maximum*
- GANDALF Gas AND Absorption Line Fitting
- HST *Hubble Space Telescope* ou Telescópio Espacial Hubble
- IDL *Interactive Data Language*
- IFU *Integral Field Unit*
- LINER *Low-Ionization Nuclear Emission-Line Region*
- LOSVD *Line-of-Sight Velocity Distribution*
- MaNGA *Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory*
- MNRAS *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*
- MPL – 5 *MaNGA Product Launch-5*
- NLR *Narrow Line Region* ou Região de Linhas Estreitas
- NLRGs *Narrow-Line Radio Galaxies*
- PA *Position Angle* ou Ângulo de Posição
- pPXF *penalized Pixel-Fitting*
- PSF *Point Spread Function*
- QSO *Quasi-Stellar Object*
- QUASAR *Quasi-Stellar Radio Source*
- SAURON *Spectrographic Areal Unit for Research on Optical Nebulae*

SF *Star-Forming*

SDSS *Sloan Digital Sky Survey*

VPH *Volume-Phase Holographic*

LISTA DE SÍMBOLOS

Gyr 10^9 anos

Myr 10^6 anos

Z_{\odot} Metalicidade Solar (0.0177)

kpc 10^3 parsec ($1 \text{ pc} = 3.086 \times 10^{16} \text{ m}$)

M_{\odot} Massa Solar ($1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$)

Å Ångström (10^{-10} m)

nm 10^{-9} m

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	GALÁXIAS ATIVAS	11
1.2	FEEDBACK DE AGNS	12
1.3	OBJETIVOS	18
2	O LEVANTAMENTO DE DADOS MANGA	19
2.1	OS CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE GALÁXIAS DO MANGA	22
2.2	A ESPECTROSCOPIA IFU DO MANGA E AS OBSERVAÇÕES	23
3	METODOLOGIA	26
3.1	AMOSTRA: AGNS E AMOSTRA DE CONTROLE	26
3.2	FILTRAGEM ESPACIAL E REMOÇÃO DE RUÍDOS	30
3.3	AJUSTE ESPECTRAL	34
3.4	MEDIDA DA ORIENTAÇÃO DA LINHA DOS NODOS	37
4	ARTIGO: THE FIRST 62 AGN OBSERVED WITH SDSS-IV MANGA – III: STELLAR AND GAS KINEMATICS	40
5	CONCLUSÕES	54
5.1	PERSPECTIVAS	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 GALÁXIAS ATIVAS

As galáxias com núcleo ativo são caracterizadas por apresentarem uma intensa emissão de radiação proveniente da região central, a qual não é causada apenas pela população estelar, mas também pela presença de um Núcleo Ativo de Galáxia (AGN-*Active Galactic Nucleus*). Segundo o modelo unificado dos AGNs (Antonucci 1993, Urry & Padovani 1995), essa intensa emissão é causada pela acreção de matéria por um buraco negro supermassivo (BNS), que transforma energia potencial gravitacional em energia luminosa, térmica e cinética.

O modelo unificado consiste de um buraco negro central, acretando gás do chamado disco de acreção. Ao redor deste disco existe um toroide de gás e poeira. Na região externa desse toroide, chamada de Região de Linhas Estreitas (NLR-*Narrow Line Region*), são produzidas as linhas de emissão estreitas por nuvens de gás ionizado de baixa densidade eletrônica (10^2 – 10^6 cm^{-3}), cujas velocidades do gás são da ordem de centenas de km s^{-1} . Já nas regiões internas ao toroide, Região de Linhas Largas (BLR-*Broad Line Region*), são produzidas as linhas de emissão largas por nuvens de gás se movendo com velocidades de alguns milhares de km s^{-1} e o gás ionizado apresenta alta densidade eletrônica ($>10^9$ cm^{-3}) (Peterson 1997). Além disso, *outflows* de partículas energéticas podem ocorrer na direção perpendicular ao disco de acreção e ao toroide, esses jatos colimados de partículas relativísticas emitem radiação principalmente em comprimentos de onda rádio e raios X.

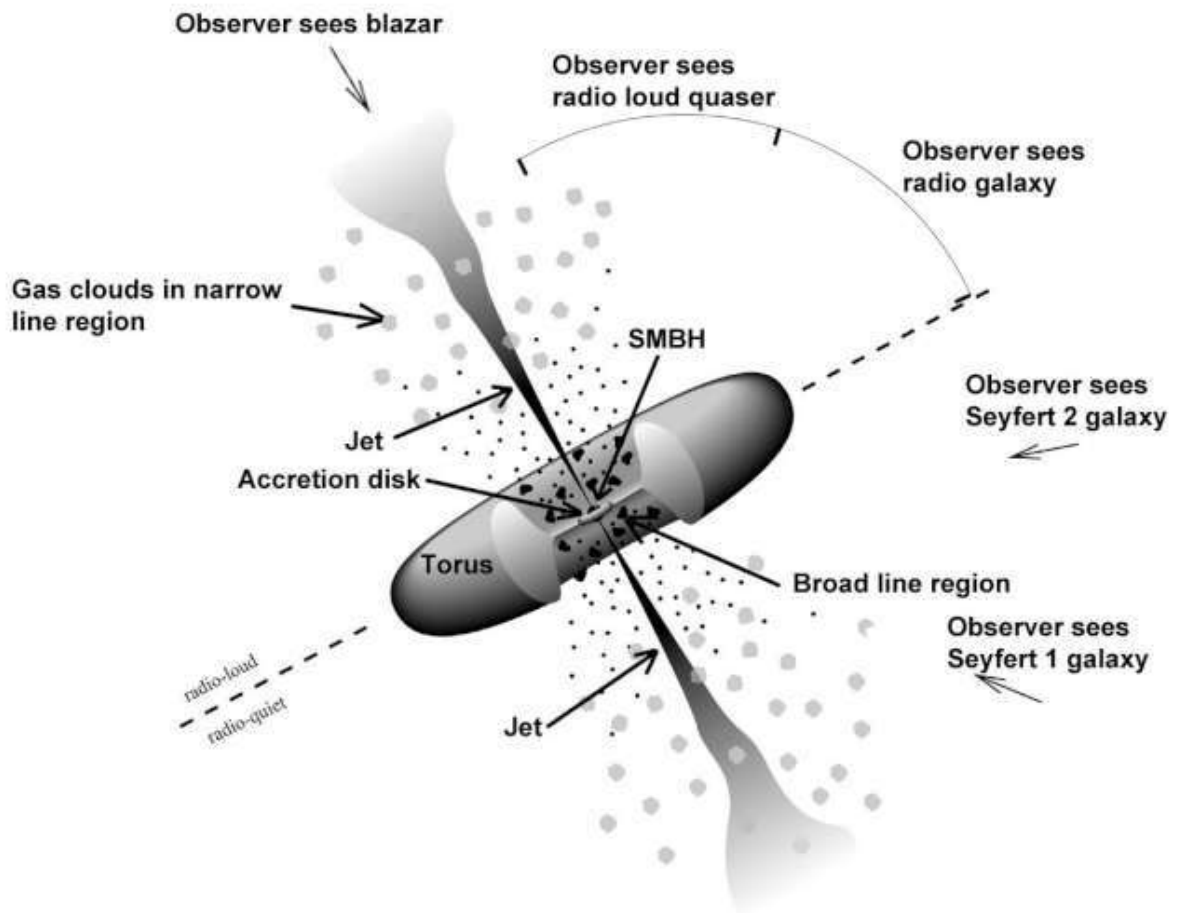
Na Figura 1.1 apresenta-se uma representação esquemática do modelo unificado. De acordo com o modelo unificado, as diferentes características dos AGNs são explicadas pelas diferentes orientações da linha de visada, pois dependendo da posição que estamos observando o AGN, o toroide pode obscurecer a BLR, e pela presença ou ausência de jatos de partículas relativísticas. Desta forma é possível separar os núcleos ativos em diferentes classes, tais como galáxias Seyferts, LINERs (*Low-Ionization Nuclear Emission-Line Region*), rádio galáxias, QUASARs (*Quasi-Stellar Radio Source*) e Blazares.

A presença de linhas de emissão largas, como $H\alpha$, e estreitas, como o $[\text{O III}]\lambda 5007$, em galáxias Seyfert I e a presença apenas de linhas estreitas em Seyfert II, por exemplo, é explicada pela orientação da galáxia em relação a linha de visada. No caso das galáxias Seyfert I vemos a região de formação de linhas estreitas e a região de formação de linhas largas, enquanto para as Seyfert II observamos apenas a luz oriunda da NLR, pois a BLR está obscurecida pelo toroide.

Essa diferença de orientação da galáxia em relação a linha de visada também explica a presença de linhas largas e estreitas no espectro ótico (3000–7000 Å) de algumas rádio galáxias, classificadas como rádio galáxias de linhas largas (BLRG-*Broad-Line Radio Galaxies*) e apenas

linhas estreitas no espectro ótico das rádio galáxias de linhas estreitas (NLRGs-*Narrow-Line Radio Galaxies*). Ou seja, observamos as BLRGs em uma linha de visada onde vemos a NLR e a BLR, já nas NLRGs estamos visualizando apenas a NLR. Então, podemos verificar que o espectro ótico das BLRGs é semelhante ao das galáxias Seyfert I e as NLRGs são análogas as Seyfert II. Porém, as rádio galáxias são observadas de uma linha de visada que torna possível ver uma intensa emissão de uma fonte rádio compacta.

Figura 1.1 – Representação do modelo unificado dos AGNs.



Fonte: <https://fermi.gsfc.nasa.gov/science/eteu/agn/figure1.jpg>.

1.2 FEEDBACK DE AGNS

O *feedback* de AGNs pode ser entendido como o efeito do AGN na galáxia que o hospeda, causado pela energia emitida a partir do núcleo na forma de ventos (*outflows*), jatos de partículas e radiação. Existem dois modos principais de feedback de AGNs: o modo QUASAR e o modo rádio (Combes 2014).

O modo rádio é comum em galáxias onde o AGN tem uma luminosidade muito inferior

a luminosidade de Eddington (L_{Edd}), ou seja, $L < 0.01L_{Edd}$. A Luminosidade de Eddington é definida como a máxima luminosidade que um corpo pode ter quando há um balanço entre a força gravitacional e as forças devido a pressão de radiação¹. Para os objetos que têm esse modo de *feedback* são observados jatos de partículas relativísticas, que emitem radiação em bandas rádio. Esse modo é frequentemente encontrados nas BCGs (*Brightest Cluster Galaxy*) que são geralmente galáxias elípticas massivas e estão localizadas nos centros dos aglomerados (Combes 2014). A Figura 1.2 mostra uma imagem com observações do telescópio Hubble no ótico (em amarelo), do Chandra em raios X (em azul) e do *Very Large Array* em rádio, do grupo de galáxias MS0735.6+7421. Nessa imagem podemos notar os jatos rádio (em vermelho) saindo da região central e atingindo o meio entre as galáxias do aglomerado.

No modo rádio, o *feedback* do AGN é devido ao fato de que os jato relativístico aquece o meio difuso do halo das galáxias, impedido o resfriamento do gás presente no halo. Assim, o gás não se move em direção a galáxia central e conseqüentemente extingue (*quench*) a formação estelar da galáxia. O modo rádio é conhecido como um “modo de manutenção”, já que mantém o balanço entre o aquecimento e resfriamento do gás da galáxia. Em geral este modo resulta no que se chama de *feedback* negativo do AGN.

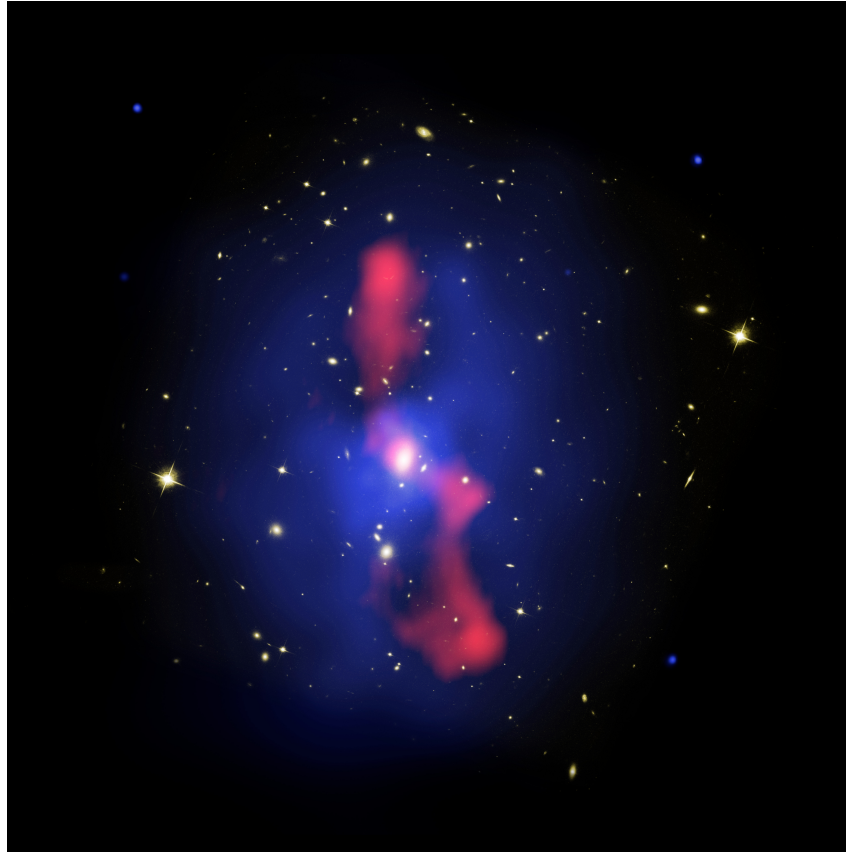
No modo QUASAR, o *feedback* ocorre quando o AGN tem luminosidade próxima a luminosidade de Eddington. E dessa forma ocorre uma perda de matéria pela galáxia, em forma de radiação. Este modo de *feedback* pode atuar basicamente de duas formas na galáxia que hospeda o AGN: (i) suprimindo a formação estelar, uma vez que a pressão de radiação e energia cinética dos fortes ventos emanados do disco de acreção podem impedir o colapso das nuvens de gás molecular, precursoras das estrelas (Thacker et al. 2006; Cano-Diaz et al. 2012). Neste caso, diz-se que o feedback do AGN é negativo; (ii) induzindo a formação estelar, através da compressão da matéria devido aos ventos (Maiolino et al. 2017; Cresci & Maiolino 2018). Este modo é mais raro e chamado de *feedback* positivo do AGN.

De acordo com o modelo unificado dos AGNs (Antonucci 1993, Urry & Padovani 1995), espera-se que a NLR apresente um formato bicônico, onde *outflows* de gas podem ser observados. Segundo Riffel et al. (2014), assinaturas de interações entre o jatos rádio e a NLR em galáxias Seyfert aparecem nos espectros de galáxias como uma distorção dos perfis das linhas de emissão em relação aos perfis gaussianos. Além disso, esses perfis apresentam um aumento da dispersão de velocidades e outras assinaturas cinemáticas associadas a *outflows* que são observados em regiões que são co-espaciais as estruturas rádio. No entanto, os *outflows* observados nessas galáxias não são provavelmente originados pela interação do jato rádio com o gás da NLR, mas pela interação de ventos do disco de acreção com o gás da região circum-nuclear da galáxia e são observados como tendo um formato bicônico.

Alguns trabalhos têm mostrado que os *outflows* não são tão comuns como esperados pelo modelo unificado. De fato, Fischer et al. (2013) encontra que *outflows* são vistos apenas

¹A pressão de radiação é definida como a pressão exercida sobre alguma superfície devido à incidência de uma onda eletromagnética

Figura 1.2 – Imagem composta do grupo de galáxias MS0735.6+7421. As observações que resultaram nas três imagens foram realizadas com o telescópio Hubble, o Chandra e o Very Large Array. Em amarelo são as observações no ótico, em vermelho são os dados rádio e em azul os dados em raios X.



Fonte: <https://cdn.spacetelescope.org/archives/images/screen/opo0651b.jpg>.

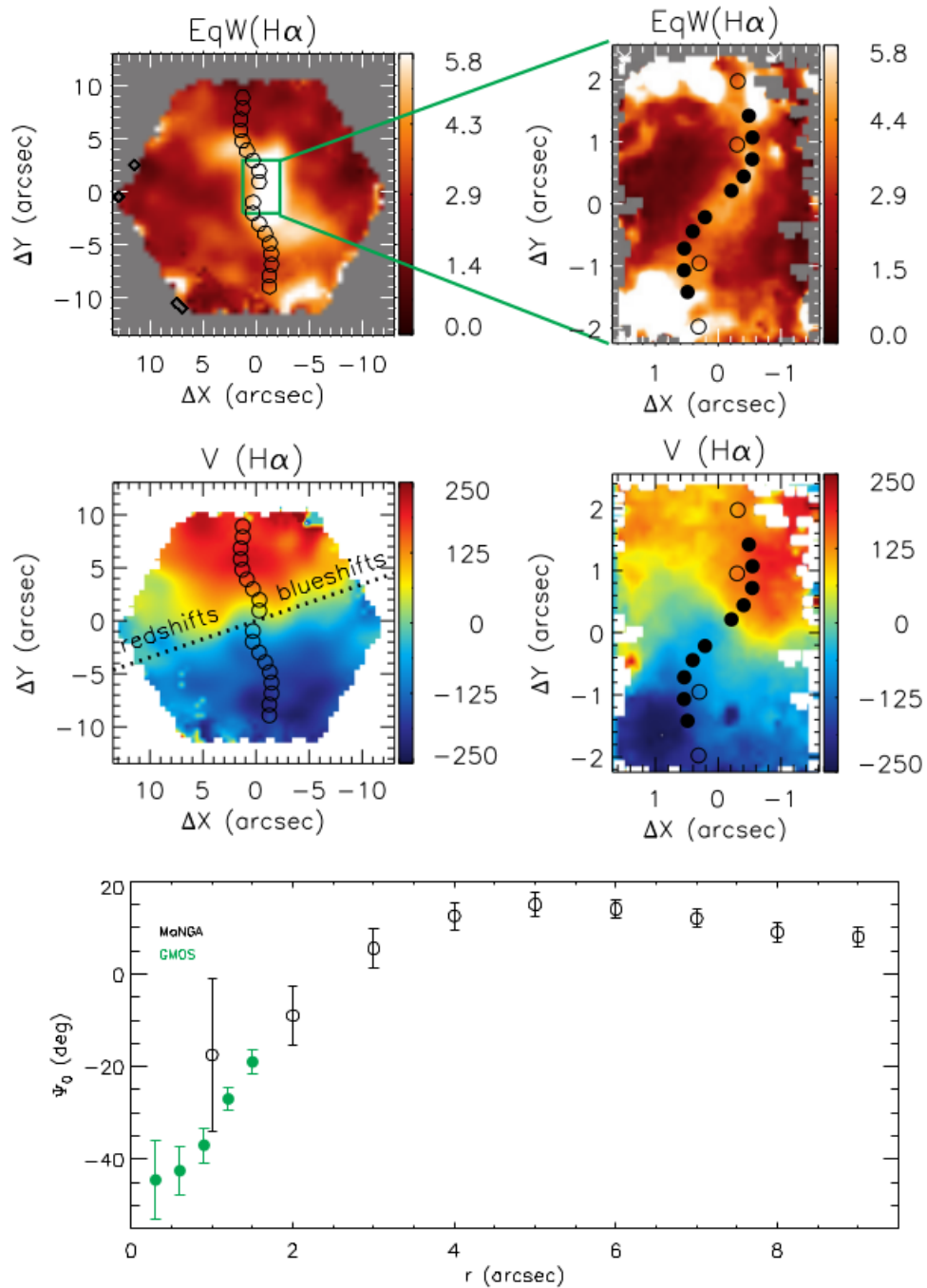
em 33% das galáxias como revelado por espectroscopia de fenda longa de 53 AGN. Usando imagens de banda estreita do Telescópio Espacial Hubble (HST-*Hubble Space Telescope*) para uma amostra de 60 galáxias Seyfert, Schmitt et al. (2003) mostram, analisando os fluxos da linha de emissão do $[O\ III]\lambda 5007\ \text{\AA}$, que o formato bicônico da NLR também não é tão comum.

No entanto, muitos trabalhos com espectroscopia de campo integral para galáxias individuais têm detectado *outflows*. Por exemplo, Riffel et al. (2014) utilizando observações com espectroscopia de campo integral do telescópio Gemini, acham um *outflow* perpendicular ao jato rádio para a galáxia Seyfert II NGC 5929. Além disso, recentemente Cheung et al. (2016) relataram a existência das chamadas galáxias *Red Geysers*. Essas galáxias não mostram atividade recente de formação estelar e a maioria delas parece abrigar um AGN de baixa luminosidade. Todas mostram *outflows* bipolares em grande escala (vários kiloparsecs), que são interpretados como sendo ventos originados na região central.

A Figura 1.3 apresenta observações da galáxia Akira que é o protótipo das *Red Geysers* obtidas com o *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) e telescópio Gemini (Riffel et al. em preparação). Os mapas do painel superior mostram a largura equivalente do $H\alpha$ (EqW $H\alpha$) obtidos

com o SDSS (esquerda) para em grande escala da galáxia e com o Gemini (direita) para região central da mesma galáxia. O quadrado verde no mapa de largura equivalente do SDSS representa a região para a qual foram realizadas as observações com o Gemini. Esses mapas de largura equivalente mostram que os maiores valores grande escala e região central estão desalinhados. Os círculos abertos representam a orientação do *outflow* determinada a partir dos dados do Sloan, enquanto os fechados representam a orientação do *outflow* determinada a partir das observações do Gemini. Já os campos de velocidades do $H\alpha$ (painel do meio) em grande e pequena escalas também estão desalinhados e mostrando que o *outflow* varia de orientação com a distância ao núcleo. A linha pontilhada nesses campos representa a orientação da linha dos nodos determinada a partir do campo de velocidades estelar, a qual é distinta da orientação do *outflow*. O último painel apresenta a variação da orientação do *outflow*. Este *outflow* é interpretado como sendo devido a um AGN de baixa luminosidade, originado pela precessão do disco de acreção em torno do buraco negro central. Essa precessão do disco de acreção pode explicar como esse AGN com baixa potência dos ventos é tão eficaz em suprimir a formação estelar da galáxia, um vez que devido a precessão do disco, o *outflow* produzido cobre um maior volume da galáxia e dessa forma pode ter um impacto mais significativo, dissipando o gás que iria formar estrelas.

Figura 1.3 – *Outflows* na galáxia Akira (protótipo das *Red Geysers*) visto com SDSS e Gemini. No painel de cima temos os mapas da largura equivalente do H α obtidos com o SDSS (esquerda) e Gemini (direita). O quadrado verde no mapa de largura equivalente representa a região da galáxia que também foi observada com o Gemini. No painel central temos os campos de velocidades de H α em larga escala (esquerda) e pequena escala (direita). A linha pontilhada apresenta a orientação da linha dos nodos medida a partir do campo de velocidades estelar. Os círculos mostram a orientação do *outflow*, os círculos abertos são dados do SDSS e os fechados são dados do Gemini. No painel inferior temos a variação da orientação do *outflow* com a distância ao núcleo, o que pode ser modelado como uma precessão do disco de acreção.



Fonte: Riffel et al. (em preparação).

Logo, um melhor mapeamento dos *outflows* e da geometria deles pode ser obtido com observações usando espectroscopia de campo integral como mostram estudos recentes no ótico e no infravermelho próximo (Lena et al. 2015; Schnorr-Müller et al. 2014; Zakamska et al. 2016; Riffel et al. 2014; Barbosa et al. 2014), pois ao contrário das observações de fenda longa, elas não se restringem apenas a um ângulo de posição.

Além disso, estudo teóricos e simulações numéricas sugerem que o AGN desempenha um papel importante na evolução da sua galáxia hospedeira (Hopkins et al. 2005). Sendo bem aceito que galáxias com componente esférica (bojos de espirais e galáxias elípticas) hospedam um BNS central (Ferrarese & Merritt 2000; Gebhardt et al. 2000; Tremaine et al. 2002; Scannapieco et al. 2005) e as simulações que não incluem os efeitos de feedback do AGN, resultam em galáxias com massas estelares muito mais altas do que as observadas (Di Matteo et al. 2005; Springel et al. 2005; Bower et al. 2006). *Outflows* são importantes também para regular o crescimento do bojo galáctico e do BNS (Hopkins et al. 2005) e explicar a relação entre a massa do BNS e a dispersão de velocidade estelar do bojo, a relação $M - \sigma$ (Ferrarese & Merritt 2000; Gebhardt et al. 2000; Kormendy et al. 2013).

Alguns estudos recentes tem também sugerido que existe uma relação entre a luminosidade da galáxia ativa e o impacto dos *outflows*. Observações no ótico (Wylezalek et al. 2016), rádio (Zakamska & Greene 2014), bem como modelos teóricos tem sugerido que o AGN precisa ter luminosidade suficiente para o gás escapar da região central da galáxia. Dessa forma, apenas outflows de AGNs mais luminosos causariam um impacto maior sobre a galáxia hospedeira. Woo et al. (2017), utilizando dados na faixa do ótico obteve um resultado semelhante para uma amostra de 110.000 AGN e galáxias star-forming (SF). Eles encontram que a dispersão de velocidades do gás aumenta com o aumento da luminosidade do AGN. Essa tendência também é vista para objetos compostos, mas não é clara para galáxias SF, logo essa relação é interpretada como intensos *outflows* de gás em AGN de alta luminosidade. Porém, Woo et al. (2017) não realizaram uma seleção de galáxias inativas com as mesmas propriedades da galáxia ativa hospedeira do AGN, tais como magnitude absoluta, massa estelar, *redshift*, tipo morfológico, inclinação semelhantes e efeitos de projeção podem estar presentes.

Portanto, a comparação entre a cinemática do gás e das estrelas em uma escala de kiloparsec permite analisar o impacto dos *outflows* do AGN em sua galáxia hospedeira. Nesse trabalho utilizamos uma amostra de controle (descrita na seção 3.1), composta por galáxias inativas que apresentam a mesmas propriedades da galáxia hospedeira do AGN. Para isso, utilizamos uma amostra de 62 AGNs e galáxias inativas observadas pelo *survey* MaNGA (*Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory*).

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é entender o efeito do *feedback* do AGN na galáxia hospedeira, analisando para isso a cinemática do gás e das estrelas em uma amostra de galáxias selecionadas das observações espectroscópicas do *survey* MaNGA. Os objetivos específicos para as amostras de 62 AGNs e 109 galáxias não-ativas são descritos nos itens abaixo.

- Realizar um mapeamento da cinemática do gás e das estrelas para amostra de AGN e controles.
- Comparar as distribuições da diferença do ângulo de posição cinemático do gás e das estrelas das amostras, verificando dessa forma se os *outflows* causam algum impacto em grande escala nas galáxias hospedeiras.
- Verificar se existe alguma relação entre a luminosidade e as dispersões de velocidades estelar e do gás na região central (dentro de um diâmetro de $2.5''$) das galáxias. Com isso podemos analisar se a luminosidade do AGN está relacionada com o *outflow* e o impacto do mesmo sobre a cinemática da galáxia hospedeira.
- Comparar os resultados obtidos para nossa amostra com aqueles disponíveis na literatura, como por exemplo os obtidos para galáxias de mais baixa massa.

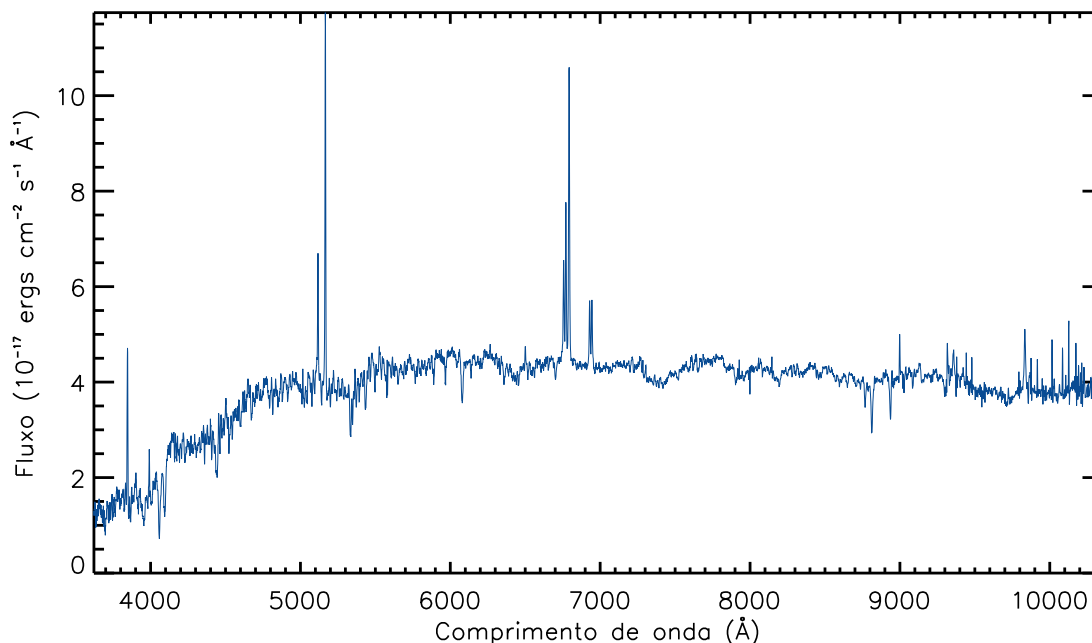
Esta dissertação está organizada da seguinte forma: No capítulo 2 apresenta-se os dados do *survey* MaNGA e como foram realizadas as observações. No capítulo 3 descreve-se a amostra utilizada, o tratamento dos cubos de dados e a metodologia para obter as medidas dos observáveis físicos. No capítulo 4 apresenta-se o artigo resultante desse trabalho, submetido a *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, onde são descritos e discutidos os principais resultados. No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões.

2 O LEVANTAMENTO DE DADOS MANGA

O levantamento de dados (*survey*) MaNGA faz parte do SDSS-IV (*Sloan Digital Sky Survey-IV*) (Bundy et al. 2015) e pretende observar uma amostra de cerca de 10.000 galáxias próximas com massa estelar $M_* \geq 10^9 M_\odot$. As observações são realizadas no modo de espectroscopia de campo integral com o telescópio Sloan de 2.5 metros de diâmetro. A técnica de espectroscopia de campo integral associa a cada pixel espacial (*spaxel*) da imagem um espectro.

Os dados fornecidos pelo MaNGA têm uma cobertura espectral de 3600–10.300 Å como mostra o espectro extraído da região central da galáxia *mangaid* 1-94784 na Figura 2.1. Além disso, os dados possuem uma resolução espectral $R \sim 2000$. Cada *spaxel* tem um tamanho de $0.5 \times 0.5 \text{ arcsec}^2$ e o campo de visão depende de quantas fibras foram utilizadas para a observação de um dado objeto, podendo variar de um campo de visão com diâmetro de $7.0''$ até $32''$.

Figura 2.1 – Espectro extraído da região central da galáxia *mangaid* 1-94784 mostrando a cobertura espectral dos dados do MaNGA.

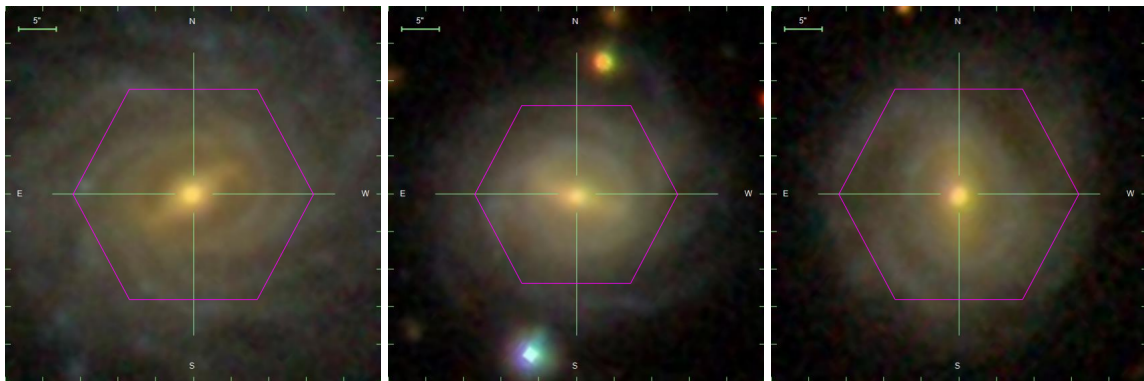


Dados do MaNGA permitem o estudo de diversas propriedades do gás e de estrelas das galáxias observadas, tais como: emissão do gás e contínuo, cinemática estelar e do gás, idades das populações estelares, metalicidades, bem como formação estelar. Na Figura 2.2 vemos um

exemplo de três galáxias observadas pelo levantamento MaNGA, onde temos imagens compostas em três cores das banda g-r-i do SDSS e o hexágono rosa representa o tamanho da IFU (*Integral Field Unit*) utilizada para observação.

Essas três galáxias fazem parte da amostra selecionada em Rembold et al. (2017), os objetos *mangaid* 1-218280 e *mangaid* 1-211063 são galáxias não ativas, enquanto o *mangaid* 1-135044 é um AGN. Na Figura 2.3 e na 2.4 são apresentados para essas galáxias alguns resultados que podem ser extraídos das observações do MaNGA, como a cinemática estelar e também a emissão e cinemática do gás.

Figura 2.2 – Imagens compostas em três cores das banda g-r-i do SDSS de três galáxias observadas pelo MaNGA *survey*. O hexágono rosa nas três figuras representa o tamanho da IFU utilizada para a observação. Na imagem da esquerda temos a galáxia *mangaid* 1-218280, no centro a galáxia *mangaid* 1-135044 e na direita *mangaid* 1-211063.



Fonte: <https://data.sdss.org/sas/mangawork/manga/spectro/redux/MPL-5/platelist3d.html>.

Os principais objetivos do *survey* MaNGA são descritos em Bundy et al. (2015). O levantamento do MaNGA visa entender os mecanismos responsáveis pela evolução das galáxias, como o crescimento por meio da formação estelar, fusões de galáxias e como esses processos afetam a abundância química das estrelas e do gás. Logo, permitirá estudar a natureza do gás, da formação estelar e sua relação com a fusão de galáxias e acreção de matéria por buracos negros supermassivos. Dessa forma, o MaNGA pode responder perguntas, tais como:

- Como os discos das galáxias crescem e qual é a fonte de gás que alimenta esse crescimento?
- Que processos diferentes regulam o desenvolvimento de galáxias com bojo e galáxias elípticas?
- Como a formação estelar cessa e qual o papel dos processos internos da galáxia e do ambiente nesse fato?
- Como a massa e o momento angular estão distribuídos nos diferentes componentes das galáxias e como afetam esses componentes com o passar do tempo?

Figura 2.3 – Exemplo de resultados obtidos com os dados do MaNGA *survey* para o AGN *mangaid* 1-135044 e duas galáxias não ativas *mangaid* 1-218280 e *mangaid* 1-211063. Na primeira coluna temos a emissão do contínuo, na segunda os campos de velocidades estelares e na terceira os mapas de dispersão de velocidades estelares. A mapa de contínuo é mostrado em unidades de $10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Os campos de velocidades e dispersão de velocidades são apresentados em unidades de km s^{-1} .

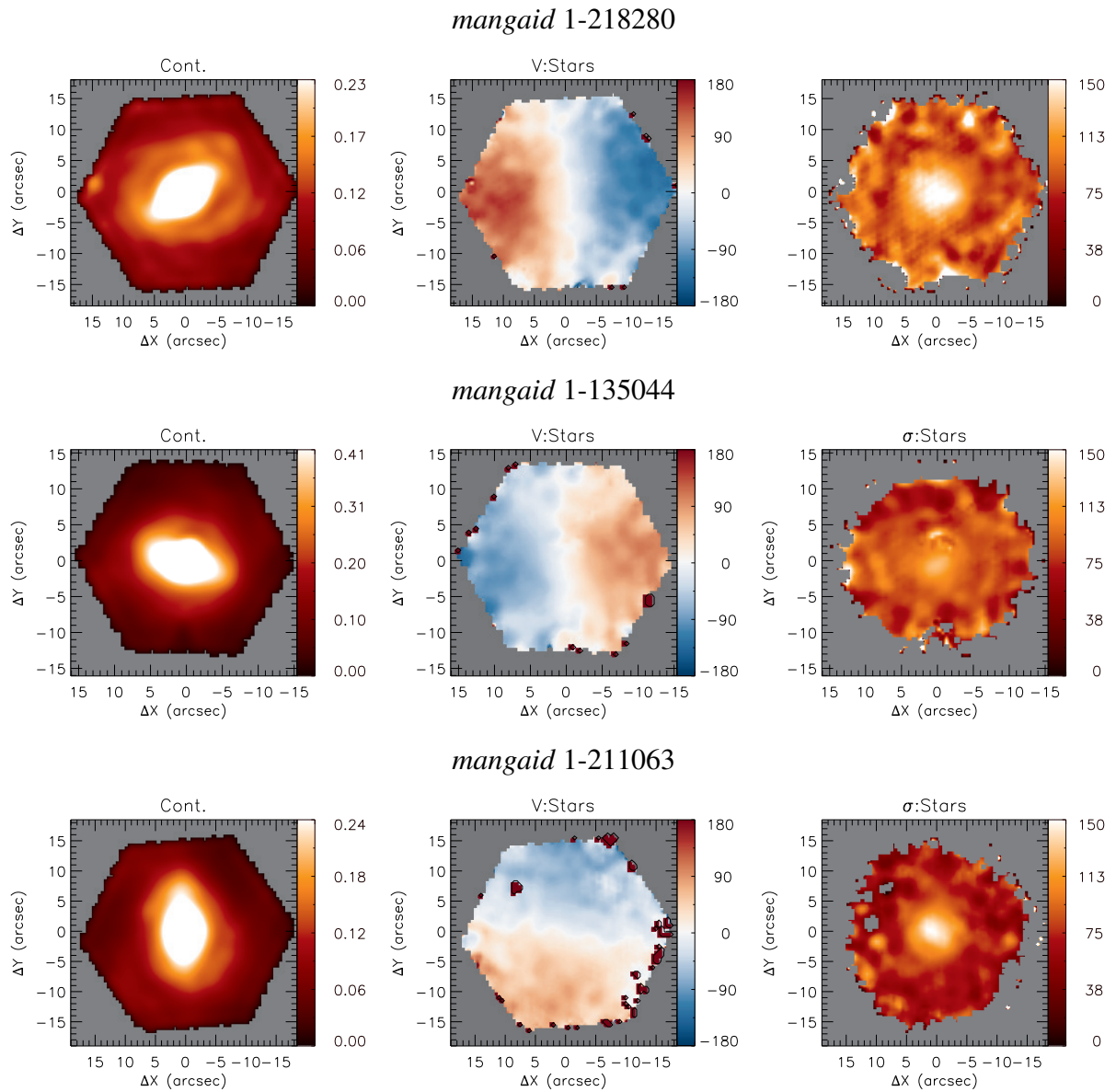
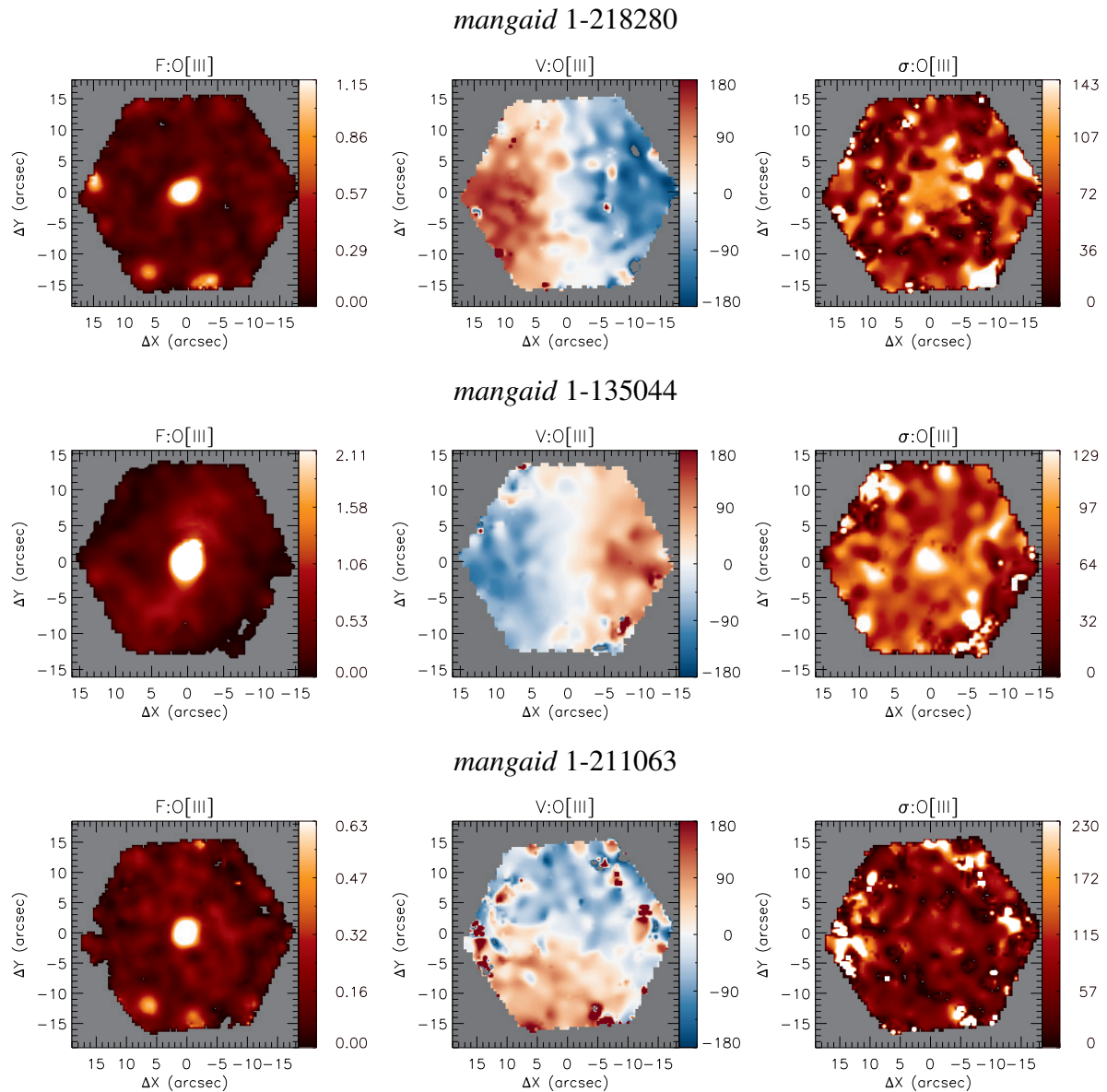


Figura 2.4 – Exemplo de resultados obtidos com os dados do MaNGA *survey* para o AGN *mangaid* 1-135044 e duas galáxias não ativas *mangaid* 1-218280 e *mangaid* 1-211063. Na primeira coluna temos a emissão do $[O\ III]\lambda 5007$, na segunda os campos de velocidades para o $[O\ III]$ e na terceira os mapas de dispersão de velocidades. O mapa de fluxo do $[O\ III]$ é mostrado em unidades de $10^{-17}\text{ erg s}^{-1}\text{ cm}^{-2}$. Os campos de velocidades e dispersão de velocidades são apresentados em unidades de km s^{-1} .



2.1 OS CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE GALÁXIAS DO MANGA

Segundo Bundy et al. (2015), a seleção da amostra de galáxias observadas pelo *survey* MaNGA é baseada em três conceitos principais, são eles:

- Observar cerca de 10.000 galáxias próximas. Esse número surge, pois para cada uma das

três componentes que definem a população da galáxia (massa estelar, taxa de formação estelar e ambiente (massa do halo)) foram selecionadas seis *bins*, ou seja, a massa estelar por exemplo foi separada em seis diferentes faixas de massa. Dessa forma, considerando cerca de 50 galáxias em cada um dos 216 bins resultantes são obtidas mais de 10.000 galáxias na amostra. Além disso, uma amostra grande também é necessária para estudar galáxias como AGNs, galáxias em fusão, pós-*starbursts* e com um amplo tipo morfológico.

- Uma amostra que seja completa e formada por galáxias acima de um determinado limite de massa estelar, escolhido como $M_* > 10^9 M_\odot$. Essa seleção é motivada pela garantia de uma amostragem adequada de M_* , reconhecido como um parâmetro que define a população das galáxias.
- Ter uma cobertura radial uniforme em termos da distribuição de luz das galáxias, o que foi quantificado através do raio efetivo das galáxias (R_e), essa escolha reconhece o comportamento similar de muitos aspectos da estrutura das galáxias, conforme definido pelos perfis de brilho superficial.

Além desses três critérios, era importante também maximizar a resolução espacial e a razão sinal-ruído, o que favorece observar galáxias em mais baixos *redshifts* (z). Por outro lado, como é necessário um grande número de objetos na amostra e também ter galáxias que sejam intrinsecamente maiores em termos do mesmo raio efetivo, é importante ter uma amostra com *redshift* um pouco maior. Portanto, foram selecionadas duas amostras.

A primeira amostra tem $\langle z \rangle \simeq 0.03$ e atinge até $1.5 R_e$ das galáxias observadas, totalizando aproximadamente 5000 objetos. Nessa amostra foram adicionadas cerca de 1700 galáxias para balancear a distribuição de cor para uma dada massa estelar fixa. Aumentando, dessa forma, ao número de galáxias azuis de alta massa, galáxias vermelhas de baixa massa e as “*green valley*”. Já a segunda amostra tem $\langle z \rangle \simeq 0.045$ e atinge até $2.5 R_e$, com cerca de 3300 galáxias. A primeira amostra apresenta uma resolução espacial maior, 1.3–4.5 kpc, enquanto a segunda tem uma resolução espacial de 2.2–5.1 kpc.

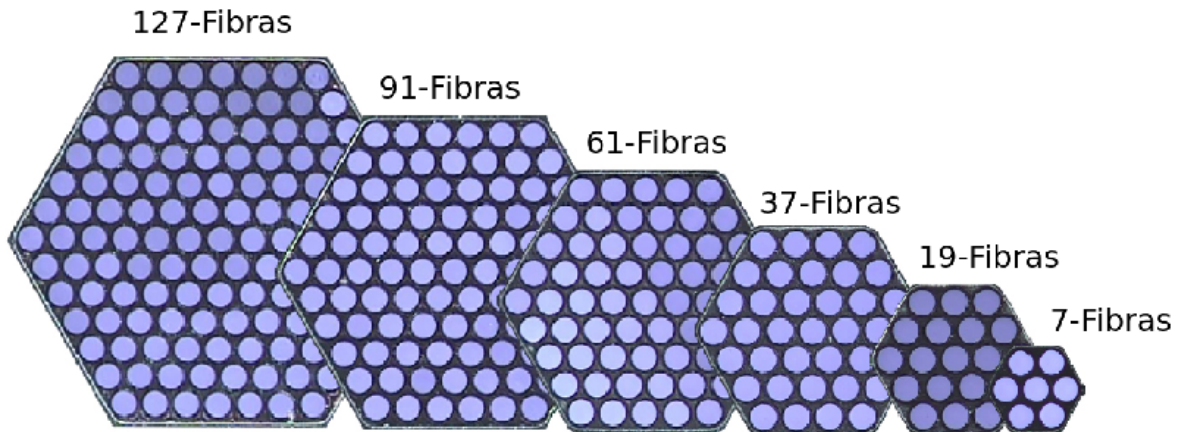
2.2 A ESPECTROSCOPIA IFU DO MANGA E AS OBSERVAÇÕES

As observações espectroscópicas das galáxias consideradas no MaNGA são realizadas com o telescópio Sloan de 2.5 metros de diâmetro, localizado no observatório *Apache Point* no Novo México e são usadas unidades de campo integral (IFUs). Cada IFU tem um formato hexagonal e é formada por um conjunto de fibras óticas, sendo que o tamanho da IFU varia com o número de fibras (de 7 a 127 fibras) como mostra a representação da Figura 2.5.

Cada um desses tamanhos de IFU gera um diferente campo de visão que depende de quantas fibras foram utilizadas para a observação do objeto, podendo variar de um campo de

visão com diâmetro de $7.0''$ (IFU usada para observação da estrela padrão) até $32''$. A Tabela 2.1 mostra o número de fibras por IFU e os respectivos diâmetros dos campos de visão gerados, além disso, apresenta o número de fibras por IFU que são usadas para as observações de céu.

Figura 2.5 – Representação das IFUs com diferentes números de fibras. Figura extraída de Bundy et al. (2015) com modificações.



Fonte: Bundy et al. (2015).

Tabela 2.1 – Características das IFUs do MaNGA. Tabela extraída de Drory et al. (2015) com modificações.

Dimensões das IFUs		Fibras para observação
Fibras por IFU	Diâmetro (arcsec)	do céu por IFU
7	7	1
19	12	2
37	17	2
61	22	4
91	27	6
127	32	8

Fonte: Drory et al. (2015).

O *survey* MaNGA usa 12 unidades de campo integral com 7 fibras cada para observar estrelas, ou seja, utiliza 84 fibras para observar as estrelas padrão para calibração em fluxo. Além disso, possui 1247 fibras óticas, divididas em 17 IFUs, para realizar as observações das galáxias (Drory et al. 2015). Já as observações do céu são realizadas com 92 fibras distribuídas em diferentes unidades de campo integral.

A luz que é emitida por um objeto é coletada pelas IFUs do Sloan e passa por dois espectrógrafos BOSS (*Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*). O feixe de luz que entra em

cada um deles é separado em um canal azul e outro vermelho em 605 nm. Cada canal tem um CCD (*Charge-Coupled Device*) de 2048×2048 pixels e uma rede de difração VPH (*Volume-Phase Holographic*). Isso resulta em uma resolução espectral que varia de $R \sim 1400$ em 4000 \AA até $R \sim 2100$ em 6000 \AA no lado azul e no lado vermelho varia de $R \sim 1800$ após 6000 \AA até $R \sim 2600$ próximo de 9000 \AA . Além disso, cada fibra projeta um espectro no CCD com uma FWHM (*Full Width at Half Maximum*) espacial de ~ 2.3 pixels (Bundy et al. 2015).

As observações das galáxias são realizadas com um tempo de integração de 15 minutos, que foi escolhido para minimizar a variação no ângulo de paralático¹ durante as exposições. O *seeing* observacional é de aproximadamente $1.5''$, mas a PSF (*Point Spread Function*) reconstruída nos cubos de dados é de $\text{FWHM} \approx 2.5''$. A razão sinal-ruído (S/N) é definida pelos objetivos científicos descritos anteriormente e para alcançar um S/N de $5 \text{ \AA}^{-1} \text{ fibra}^{-1}$ é necessário um tempo total de 3 horas de exposição, dividido em um conjunto de exposições únicas. São necessários de 3 a 4 conjuntos de observações, sendo que em cada conjunto são realizadas 3 exposições de 15 minutos. Com o objetivo de garantir a qualidade homogênea das exposições dentro de um conjunto, a diferença de *seeing* atmosférico das exposições dentro deste tem que ser inferior a $0.8''$ e os valores de $(S/N)^2$ em exposições individuais dentro do conjunto devem ter no máximo um fator de 2 um do outro.

¹Ângulo esférico entre círculo horário do objeto e o círculo que passa através do objeto e o zênite.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho utilizamos cubos de dados de galáxias observadas no projeto MaNGA. Nosso grupo é parte do “*Brazilian Participation Group*” do SDSS-IV e dessa forma possui acesso aos dados do projeto MaNGA antes destes se tornarem públicos. Além dos cubos de dados, o projeto MaNGA disponibiliza também resultados da análise de dados na forma de cubos. Esses cubos têm medidas de diversas propriedades físicas, tais como fluxos, velocidades e dispersões de velocidades do gás, propriedades das populações estelares, entre outros. Entretanto, para ter um maior controle das medidas e suposições necessárias para a realização delas, optamos por ajustar os perfis das linhas de emissão e realizar as medidas da cinemática estelar que foram utilizadas neste trabalho.

A fim de obter as medidas, utilizamos a rotina GANDALF (*Gas AND Absorption Line Fitting*) (Sarzi et al. 2006) para realizar o ajuste dos espectros dos cubos de dados da amostra. Antes de utilizar essa rotina, aplicamos nos cubos de dados a filtragem espacial de Butterworth, a fim de remover os ruídos e aumentar a razão sinal-ruído dos espectros. Neste capítulo apresenta-se a amostra utilizada no trabalho, a descrição do processo de filtragem espacial e da realização das medidas das propriedades físicas.

3.1 AMOSTRA: AGNS E AMOSTRA DE CONTROLE

As amostras de AGN e controles usadas nesse trabalho foram selecionadas por Rembold et al. (2017) usando observações do SDSS-III. Detalhes da seleção são descritos em Rembold et al. (2017), aqui apresentamos apenas um resumo do procedimento de seleção. Para cada AGN, duas galáxias não ativas foram selecionadas como controles. As galáxias de controle apresentam as mesmas propriedades da galáxia que hospeda o AGN, ou seja, têm magnitude absoluta, massa estelar, *redshift*, tipo morfológico e inclinação semelhantes ao AGN.

Inicialmente foram selecionadas todas as galáxias com cubos de dados disponíveis no MPL-5 (MaNGA Product Launch-5) do MaNGA, que já haviam sido observadas anteriormente no SDSS-III, apresentando dados espectroscópicos, com medidas de fluxos e largura equivalente das linhas de $H\beta$, $H\alpha$, $[O III]\lambda 5007$ e $[N II]\lambda 6584$ disponíveis em Thomas et al. (2013). Para identificar as galáxias hospedeiras de núcleos ativos foram usados os diagramas BPT (Baldwin, Phillips & Terlevich 1981) e WHAN (Cid Fernandes et al. 2010).

O diagrama BPT é usado para identificar o mecanismo de ionização do gás em galáxias com linhas de emissão no ótico e assim separar essas galáxias em AGNs, de formação estelar (*star-forming* – SF) e objetos de transição. Exemplos de diagramas BPT são apresentados nos painéis (a) e (c) na Figura 3.1. A curva inferior nessas imagens foi proposta empiricamente por Kauffmann et al. (2003) ao analisar uma amostra de galáxias do SDSS, e separa as galáxias

SF das galáxias com AGN+SF (galáxias de transição). Porém, galáxias que apresentam regiões HII com choque de gás podem ser também classificadas como objetos de transição. Já a curva central (Kewley et al. 2001) separa os objetos de transição daqueles que a ionização do gás é causada por um AGN (Seyferts e LINERs) e foi proposta teoricamente, combinando um modelo de população estelar e de fotoionização. A curva na parte superior da imagem é responsável por separar AGNs de baixa ionização (LINERs) daqueles de mais alta ionização (Seyferts) (Cid Fernandes et al. 2010).

Entretanto, o diagrama BPT apresenta problemas em separar AGN de baixa ionização, como LINERs, de galáxias com fracas linhas de emissão, onde a ionização do gás é produzida por fótons emitidos por estrelas de baixa massa, na fase pós-AGB (*Asymptotic Giant Branch*), as chamadas galáxias aposentadas (*retired*). As galáxias *retired* têm largura equivalente de $H\alpha$ menor do que 3\AA , não são ativas, porém apresentam linhas de emissão fracas (Brum et al. 2017) e podem ser falsamente classificadas como AGNs. Já o diagrama WHAN pode superar esse problema, usando para isso a largura equivalente de $H\alpha$ para classificar entre ionização devida ao AGN ou a estrelas pós-AGB.

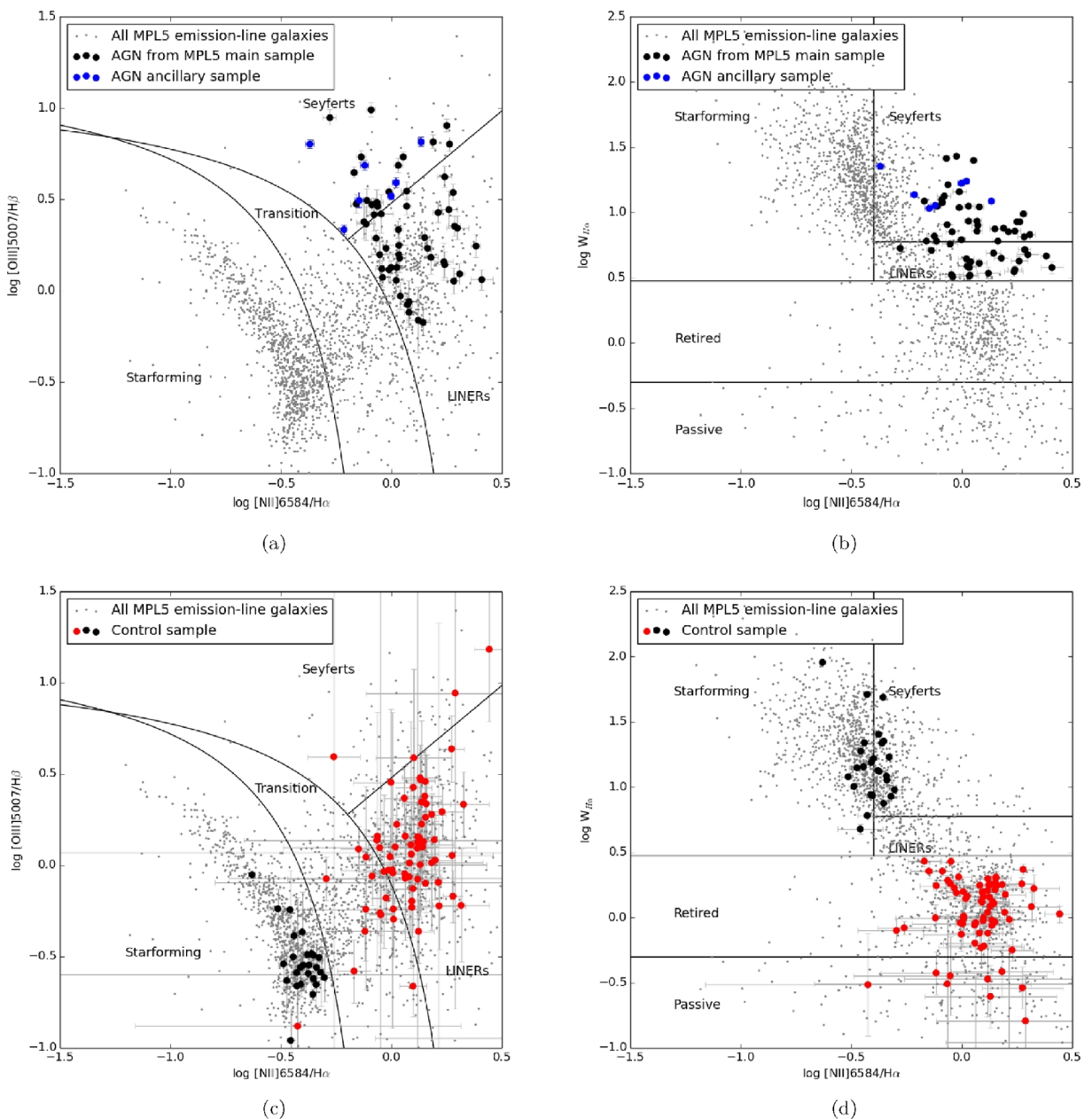
Logo, só foram selecionados para amostra aqueles objetos classificados simultaneamente como Seyfert ou LINER nos diagramas BPT e WHAN, como mostra a Figura 3.1 (a) e (b), respectivamente, eliminando assim objetos de transição e falsos AGNs.

A amostra de controle foi construída seguindo as seguintes etapas:

- Foram selecionadas todas as galáxias do MPL-5 que apresentam linhas de emissão, mas que a fonte de ionização não é um AGN, usando para essa seleção os diagramas BPT e WHAN. Nos painéis (c) e (d) da Figura 3.1 temos os diagramas BPT e WHAN usados para seleção dos controles. Onde os pontos cinzas representam todas as galáxias com linhas de emissão observadas pelo MPL-5 e os pontos vermelhos e pretos são os candidatos a controles. Para a galáxia ser considerada um potencial controle ela precisa atender a um dos seguintes critérios:
 - Estar localizada na região *star-forming* do diagrama BPT.
 - Estar na região de transição ou LINER do BPT, mas ter ionização por AGN descartada pelo diagrama WHAN.
 - Ter uma alta incerteza no $\log[\text{O III}]/H\beta$, não permitindo uma classificação segura no BPT, mas o WHAN descartar a ionização por AGN.
 - Não apresentar linhas de emissão.
- Depois disso foram selecionadas as galáxias não-ativas para cada AGN, seguindo o critério que essas galáxias tenham z e M_* semelhante à galáxia ativa, os objetos onde z e M_* não diferiu mais do que 30% dos valores desses parâmetros para a amostra de AGNs, foram considerados candidatos a controles.

- As imagens dos candidatos a controle foram visualmente verificadas para selecionar galáxias de controle com morfologia e razão axial (razão aparente entre o semi-eixo menor e maior) similar as galáxias hospedeiras do AGN. Nessa etapa os bons candidatos a controles em geral caíram para duas galáxias por AGN, assim a fim de produzir uma melhor comparação estatística, foram selecionadas apenas duas galáxias inativas para cada AGN.

Figura 3.1 – Diagramas BPT e WHAN usados para selecionar a amostra. A primeira linha apresenta o diagrama BPT (a) e WHAN (b) para os AGNs. Na segunda são apresentados os diagramas BPT (c) e WHAN (d) para amostra de controle. Os pontos cinzas representam todas as galáxias do MPL-5 com linhas de emissão, os pretos a amostra principal de AGN e os pontos azuis são uma amostra auxiliar de AGNs. Já os vermelhos e pretos são os possíveis controles.



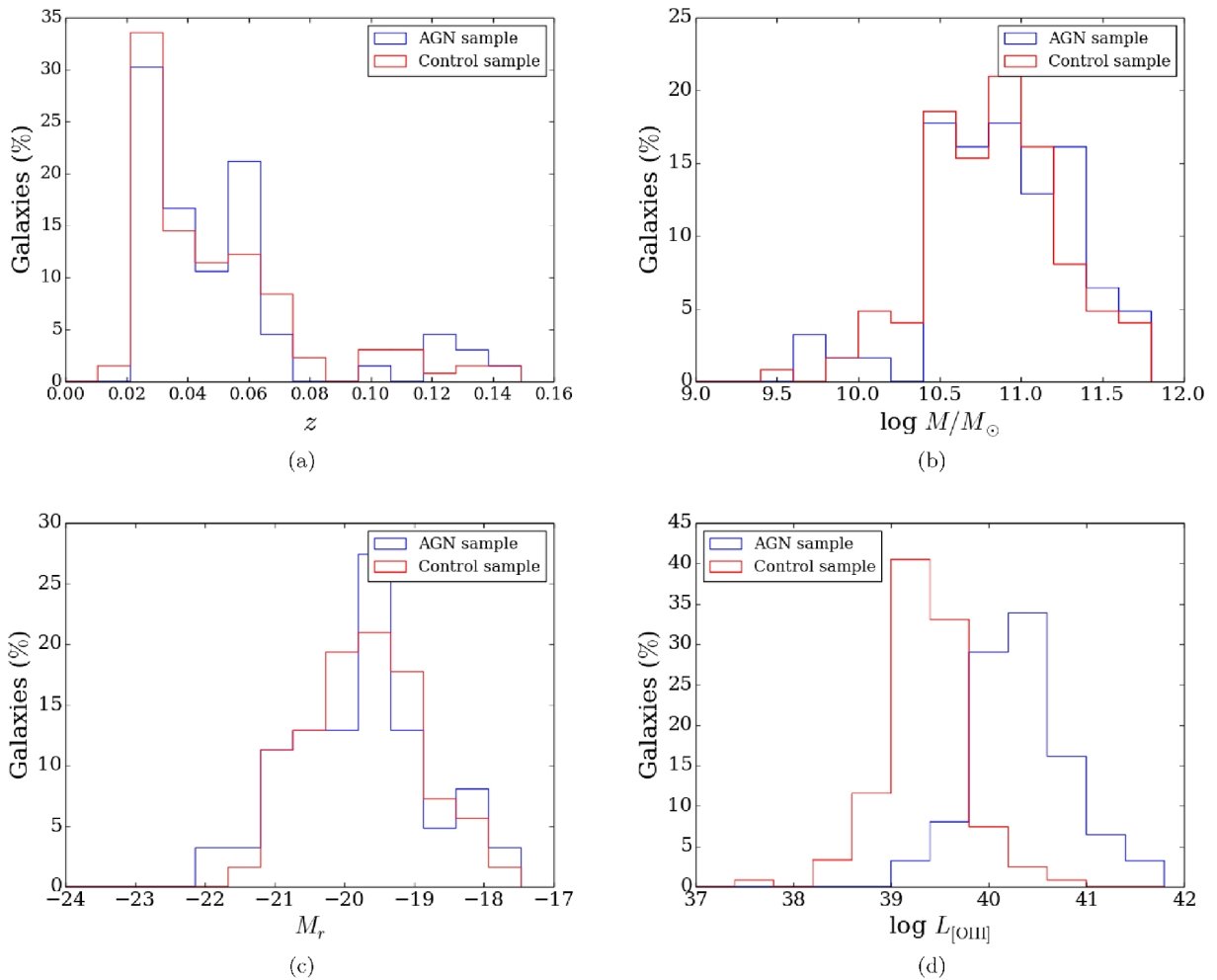
Fonte: Rembold et al. (2017)

A Figura 3.2 (a) e (b) extraídas de Rembold et al. (2017) mostram a comparação entre as distribuições dos *redshifts* e das massas estelares das galáxias, respectivamente, para a amostra de controle e de AGN. Percebe-se que essas distribuições são bastante semelhantes para as duas amostras. Para as distribuições de *redshift* das amostras, o teste de Anderson-Darling resulta em uma significância estatística menor do que 16%. O teste de Anderson-Darling mede o quanto duas distribuições são semelhantes e quanto menor seu valor resultante mais próximas estão as distribuições. Logo, esse teste confirma que as distribuições de *redshifts* para AGNs e galáxias inativas é similar.

Na Figura 3.2 (c) apresenta-se a distribuição de magnitude absoluta na banda-r para as amostras e no painel (d) as distribuições de luminosidade do [O III] ($L[\text{O III}]$). A distribuições de magnitude absoluta na banda-r são similares para AGNs e controles, já as luminosidades apresentam uma clara diferença. Segundo Rembold et al. (2017), para a distribuições de magnitude absoluta na banda-r e massa estelar a probabilidade delas não serem oriundas da mesma distribuição para AGNs e galáxias não-ativas é menor do que 5% como indica o teste de Anderson-Darling.

A única diferença estatística significativa acontece para as distribuições de luminosidade das amostras, o centroide da distribuição para amostra de AGNs ocorre em $\log(L[\text{O III}]) \approx 40.5$, enquanto para amostra de controle em $\log(L[\text{O III}]) \approx 39.3$. Esta é uma diferença esperada, já que AGNs possuem maiores luminosidades do que galáxias não ativas.

Figura 3.2 – Distribuições de *redshift* (a), massa estelar (b), magnitude absoluta na banda-r (c) e luminosidade do [O III] para as amostras de controle (vermelho) e AGNs (azul).



Fonte: Rembold et al. (2017).

A seleção resultou em amostra de AGNs formada por 62 galáxias e um amostra de controles (galáxias não ativas) com 109 objetos. Para cada AGN temos duas galáxias inativas, logo alguns controles foram selecionados para mais de um AGN.

3.2 FILTRAGEM ESPACIAL E REMOÇÃO DE RUÍDOS

A remoção do ruídos de mais alta frequência foi realizada através da filtragem espacial utilizando um filtro de banda passante de Butterworth (Gonzalez & Woods 2002) nos cubos de dados. Usamos para isso a rotina *bandpass_filter.pro* escrita na linguagem IDL (*Interactive Data Language*), ela nos permite variar a ordem do filtro utilizado e a frequência de corte. Existem dois tipos de filtros de banda passante, o passa-baixa e o passa-alta. O filtro passa-baixa elimina as componentes de frequência mais altas do que um determinado valor e o passa-alta remove as componentes mais baixas. Nesse trabalho usamos o filtro passa-baixa já que pre-

tendemos remover as frequências mais altas dos espectros dos cubos de dados, pois elas estão associadas a ruídos. Também utilizamos um filtro de Butterworth de ordem n , pois ele nos permite testar valores que realizam a melhor filtragem e ao mesmo tempo não removem a emissão da galáxia, além disso também analisamos o efeito da frequência de corte ν na filtragem. Logo, escolhemos $n=5$ e $\nu=0.25$ Ny, visto que esses dois parâmetros removem ruídos, sem remover a emissão da galáxia.

Para realizar a filtragem espacial de Butterworth calculamos a transformada de Fourier $F(u, \nu)$ de uma determinada função, levando dessa forma a função para o domínio das frequências, então multiplicamos o resultado por uma função filtro $H(u, \nu)$ e usamos a transformada de Fourier inversa para voltar ao domínio espacial. Nesse trabalho para cada *spaxel* do cubo de dados usamos uma transformada de Fourier discreta que é dada pela equação abaixo:

$$F(u, \nu) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i2\pi(ux/M + \nu y/N)}, \quad (3.1)$$

para $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ e $\nu = 0, 1, 2, \dots, N-1$, sendo u a frequência ao longo do eixo x , ν a frequência ao longo do eixo y . A função bidimensional $f(x, y)$ está definida em um intervalo $M \times N$, que nesse caso são os pixels das duas dimensões espaciais do cubo de dados.

Então, utilizamos um filtro passa baixa $H(u, \nu)$ dado por:

$$H(u, \nu) = \frac{1}{1 + [\frac{D}{D_H}]^{2n}}, \quad (3.2)$$

na qual $D(u, \nu)$ é a distância entre os pontos (u, ν) e $(0, 0)$ no domínio de frequências, D_H é o limite superior da banda de frequência e n é a ordem do filtro.

Retornamos para o domínio espacial calculando a transformada de Fourier inversa do produto $F(u, \nu) H(u, \nu)$. A transformada de Fourier inversa é definida por:

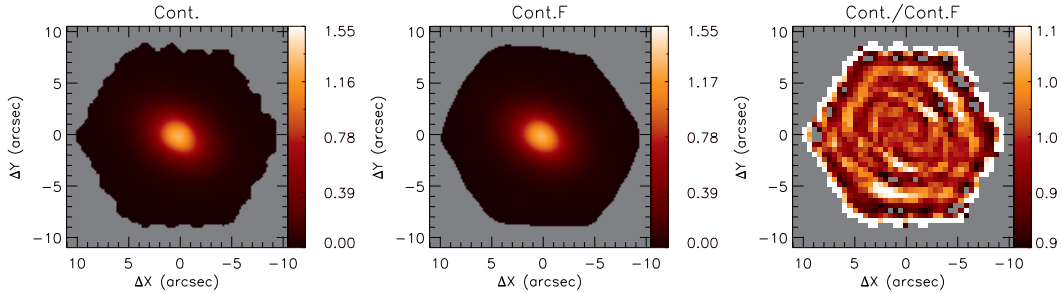
$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{\nu=0}^{N-1} F(u, \nu) e^{i2\pi(ux/M + \nu y/N)}. \quad (3.3)$$

Na Figura 3.3 temos exemplos da aplicação do filtro de Butterworth sobre o cubo de dados da galáxia identificada como *mangaid1-279666*. Essas imagens do contínuo foram construídas usando diferentes ordens do filtro e frequências de corte. A imagem de contínuo obtida do cubo original é mostrada na posição da esquerda na Figura 3.3 a fim de comparar com a imagem de contínuo obtida do cubo filtrado mostrada na coluna central para diferentes ordens e frequências. Então, calculamos a razão entre o contínuo original e o filtrado (painel da direita na Figura 3.3), a fim de verificar o efeito da filtragem. Percebe-se que ao aumentar a ordem do filtro para uma dada frequência, a emissão da galáxia começa também a ser removida, como visto nas imagens (a), (b) e (c) da Figura 3.3, ou seja, começam a surgir pequenos anéis ou arcos claros nas regiões centrais das figuras o que indica que as frequências mais altas estão sendo removidas e levando com elas a emissão da galáxia.

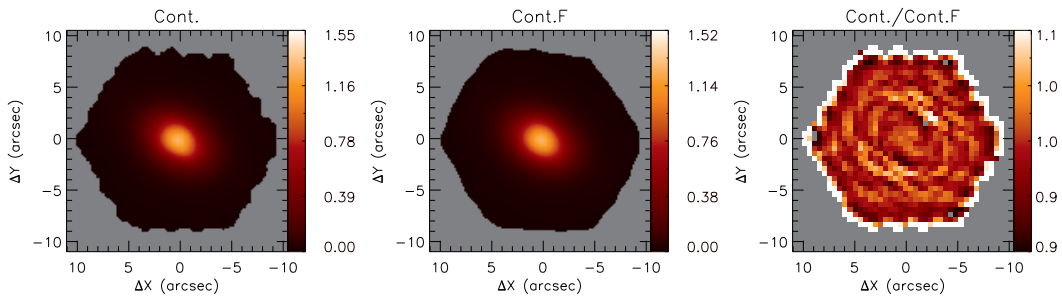
Além disso, quando diminuimos a frequência de corte para uma mesma ordem do filtro a emissão da galáxia é removida com maior intensidade como vemos nas imagens (d) e (e), pois as frequências de mais alta ordem são excluídas e surgem anéis, anéis brancos na imagem (d), onde a emissão da galáxia foi removida, ou seja, mais de 10% da emissão. Portanto, após variar a ordem e a frequência de corte para vários objetos da amostra, testar o efeito da filtragem construindo figuras e verificá-las visualmente, optamos por utilizar $n=5$ e $\nu=0.25$ Ny, visto que esses dois parâmetros removem ruídos, sem remover a emissão da galáxia.

Figura 3.3 – Imagem de contínuo da galáxia *mangaid1-279666* antes da filtragem (esquerda), após a filtragem (centro) e a razão entre eles (direita) para diferentes frequências de corte (ν) e ordem do filtro (n). Os mapas do contínuo são mostrados em unidades de 10^{-17} erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$.

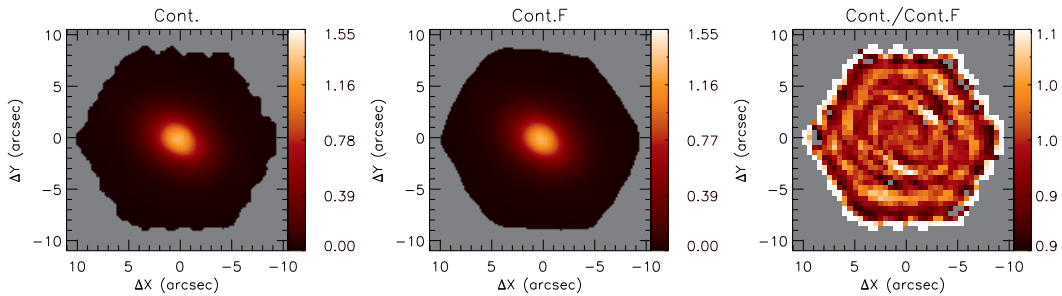
(a) $n = 7$ e $\nu = 0.25$ Ny.



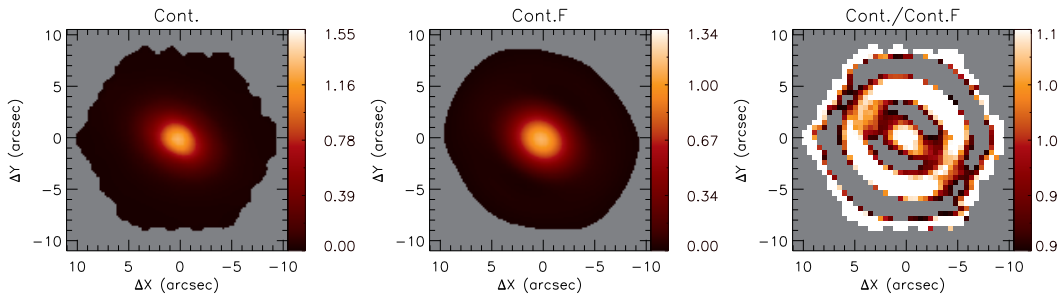
(b) $n = 3$ e $\nu = 0.25$ Ny.



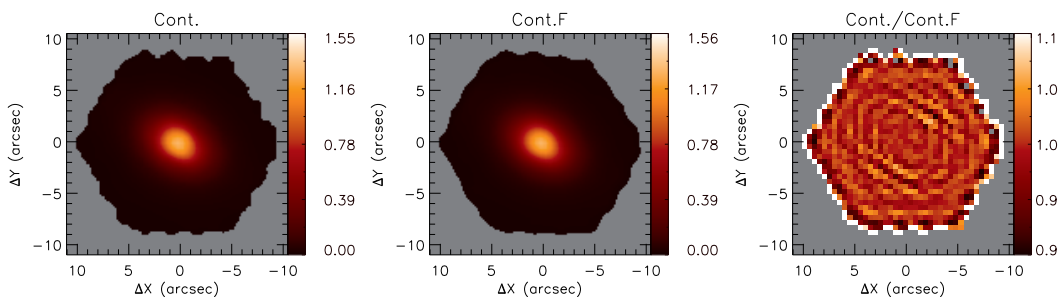
(c) $n = 5$ e $\nu = 0.25$ Ny.



(d) $n = 5$ e $\nu = 0.15$ Ny.



(e) $n = 5$ e $\nu = 0.35$ Ny.



3.3 AJUSTE ESPECTRAL

Realizamos o ajuste dos espectros presentes nos cubos de dados das galáxias observadas usando a rotina GANDALF (*Gas AND Absorption Line Fitting*) (Sarzi et al. 2006), que é escrita em linguagem IDL. Com essa rotina é possível extrair informações espectrais referentes ao gás e as estrelas presentes na galáxia. Em outras palavras, o código realiza simultaneamente o ajuste das linhas de emissão do gás e as absorções estelares, bem como o contínuo. Logo, o GANDALF separa a contribuição estelar e do gás dos espectros observados.

Para obter a contribuição estelar, o código usa a rotina pPXF (*penalized Pixel-Fitting*) de Cappellari & Emsellem (2004). Segundo Cappellari & Emsellem (2004), o pPXF cria um modelo do espectro da galáxia $G_{mod(x)}$, que é a convolução dos espectros de uma combinação de *templates* estelares $T(x)$ com LOSVD (*Line-of-Sight Velocity Distribution*). Então subtrai esse modelo do espectro da galáxia, até determinar a combinação que melhor ajusta o espectro, ou seja, que minimiza χ^2 , sendo esse o parâmetro responsável por medir a concordância entre o espectro original e o modelo. O modelo adotado para os espectros é dado pela seguinte equação:

$$G_{mod(x)} = \sum_{k=1}^K w_k [B * T_k](x) + \sum_{l=0}^L b_l P_l(x), \quad (3.4)$$

com $w_k \geq 0$. T_k é o *template* k da base de espectros, $B(x) = L(cx)$ é a função de alargamento, $L(v)$ é a LOSVD e c é a velocidade da luz. As funções $P_l(x)$ são os polinômios de Legendre de ordem l . A LOSVD é descrita por uma série de Gauss-Hermite, logo temos que:

$$L(v) = \frac{e^{-(1/2)y^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left(1 + \sum_{m=3}^M h_m H_m(y) \right), \quad (3.5)$$

onde H_m são os polinômios de Hermite, $y = (v - V)/\sigma$, V é a velocidade radial, σ é a dispersão de velocidades e h_3, \dots, h_M são os momentos de Gauss-Hermite. Nesse trabalho, nós usamos apenas os dois primeiros momentos de Gauss-Hermite para representar a LOSVD, ou seja, obtemos apenas velocidades e dispersão de velocidades. Dessa forma a Equação 3.5 se reduz a equação de uma gaussiana.

Segundo Sarzi et al. (2006), o GANDALF considera as linhas de emissão como modelos gaussianos adicionais e enquanto calcula a velocidade e dispersão de velocidade e resolve as amplitudes dessas linhas, também realiza o ajuste do restante do espectro, buscando pela melhor combinação de *templates* estelares. Ou seja, o contínuo e as linhas de emissão são ajustadas simultaneamente. Assim essa rotina nos fornece como saída a velocidade do gás, a dispersão de velocidades, o fluxo, a velocidade estelar, a dispersão de velocidades estelar e os respectivos erros.

Para realizar as medidas da contribuição estelar para os espectros dos cubos de dados dos objetos observados, o GANDALF necessita de uma biblioteca de *templates* de espectros estelares ou sintéticos. Nesse trabalho usamos como *templates*, espectros sintéticos seleciona-

dos dos modelos de Bruzual & Charlot (2003). Os modelos que fizemos uso apresentam três diferentes metalicidades ($0.004 Z_{\odot}$, $0.02 Z_{\odot}$, $0.05 Z_{\odot}$) e cobrem idades de 5 Myr até 12 Gyr, totalizando 30 modelos.

Durante o ajuste espectral, os perfis das linhas de emissão foram ajustados por curvas gaussianas, onde mantivemos vinculadas as velocidades das seguintes linhas de emissão $[\text{N II}]\lambda\lambda 6548,6583$ e $[\text{S II}]\lambda\lambda 6716,6731$, ajustando cada par separadamente. Além disso, mantivemos o valor teórico para a razão de intensidades de linhas fixo: $[\text{N II}]\lambda 6583/[\text{N II}]\lambda 6548 = 2.94$ (Osterbrock & Ferland 2006). O ajuste forneceu medidas para seis diferentes linhas de emissão, são elas: $\text{H}\beta$, $[\text{O III}]\lambda 5007$, $\text{H}\alpha$, $[\text{N II}]\lambda 6583$ e $[\text{S II}]\lambda\lambda 6716,6731$.

Como um exemplo, apresenta-se para a galáxia *mangaid* 1-95092 os fluxos para linhas de emissão ajustadas na Figura 3.4, as velocidades na Figura 3.5 e os mapas de dispersão de velocidades na Figura 3.6. Essa galáxia faz parte da amostra de AGN. No primeiro painel dessas figuras também temos os mapas do contínuo, de velocidades estelar e dispersão de velocidades estelar, obtidos com o pPXF. As barras de cores nos mostram os fluxos em unidades de $10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, as velocidades em km s^{-1} em relação a velocidade sistêmica e as dispersões de velocidades em km s^{-1} . Para essa galáxia foi possível realizar os ajustes em todas posições para todas linhas.

Figura 3.4 – Mapas de emissão para todas as linhas de emissão ajustadas usando a rotina GANDALF e também para emissão do contínuo para a galáxia *mangaid* 1-95092. As barras de cores nos mostram os fluxos em unidades de $10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

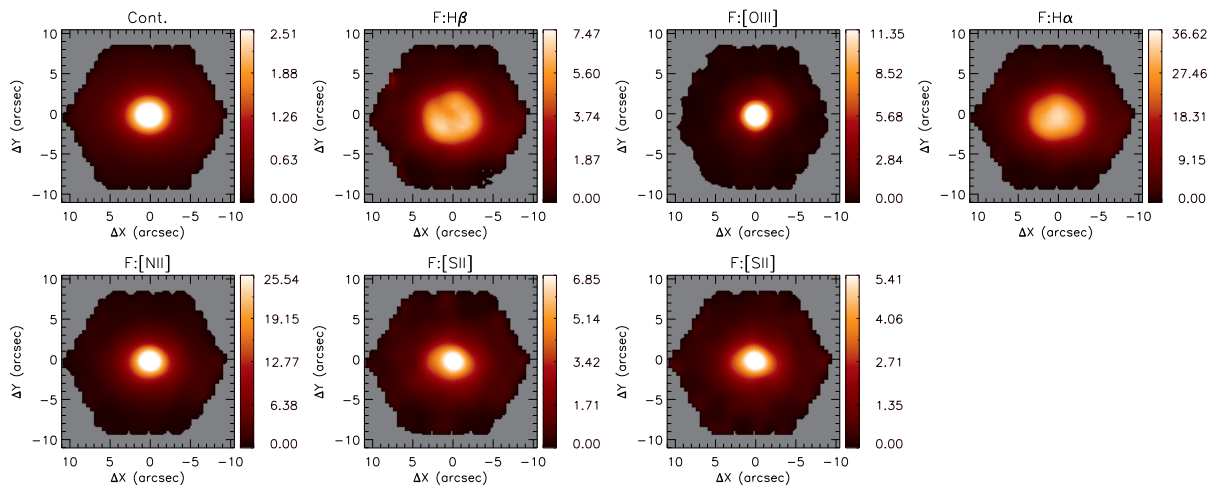


Figura 3.5 – Campos de velocidades para todas as linhas de emissão ajustadas usando a rotina GANDALF e também o campo de velocidades estelar para a galáxia *mangaid* 1-95092. As barras de cores nos mostram as velocidades em km s^{-1} .

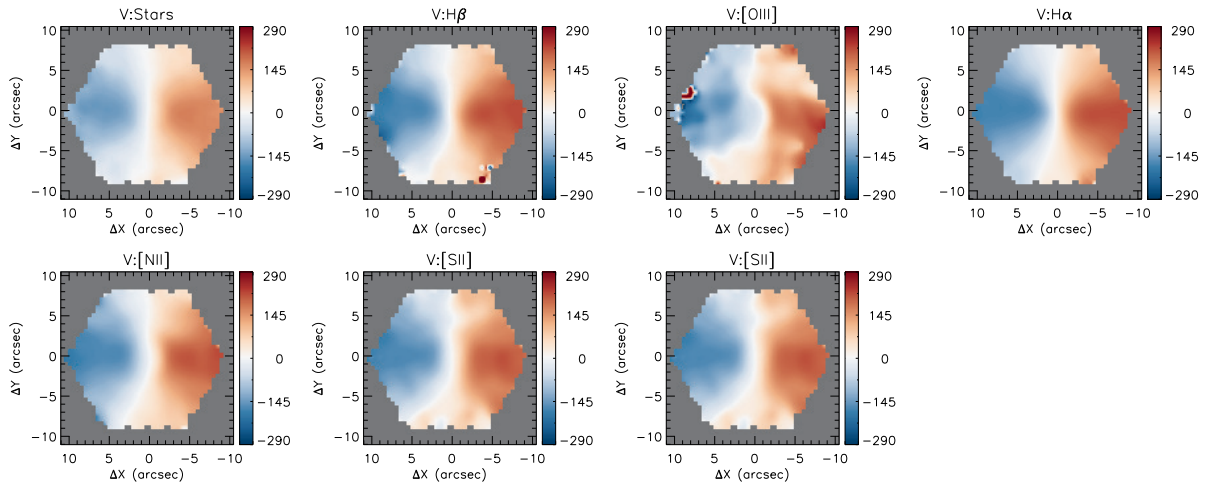
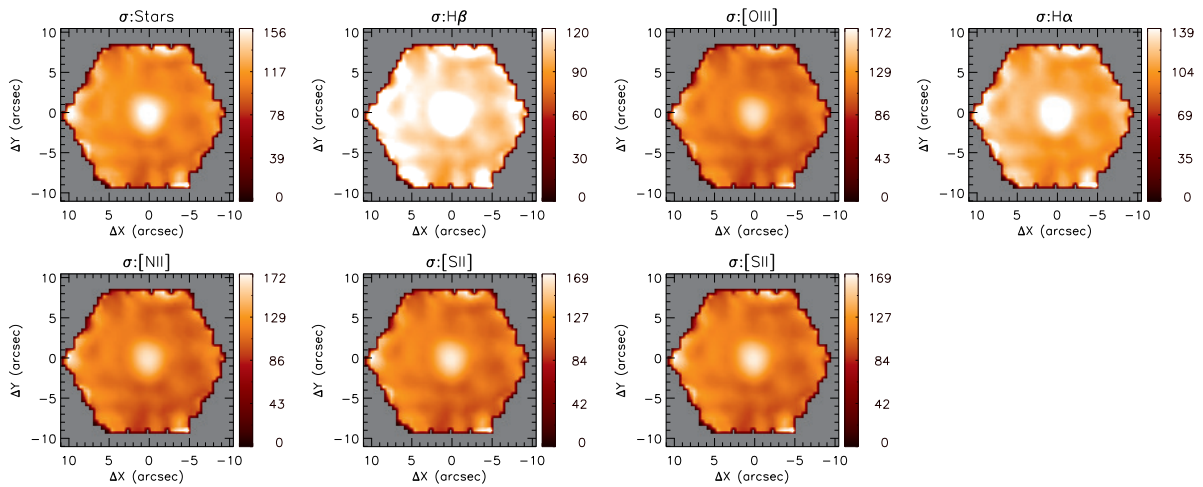


Figura 3.6 – Dispersão de velocidades para todas as linhas de emissão ajustadas usando a rotina GANDALF e dispersão de velocidades estelar para a galáxia *mangaid* 1-95092. As barras de cores nos mostram as dispersões de velocidades em km s^{-1} .



3.4 MEDIDA DA ORIENTAÇÃO DA LINHA DOS NODOS

Obtemos o ângulo de posição da linhas dos nodos dos campos de velocidade estelar e do gás, usando a rotina *fit_kinematic_pa.pro* que é uma implementação em IDL do método descrito no Apêndice C de Krajnović et al. (2006). Krajnović et al. (2006) discute o método *kinemetry* e segundo esses autores esse método cria um modelo para o campo de velocidades observados, dividindo o mesmo em elipses e realizando uma expansão harmônica sobre essas elipses, utilizando para isso uma série de Fourier.

Além disso, o método não assume nenhuma geometria para a distribuição de estrelas ou do gás da galáxia, ou seja, deixa as propriedades dinâmicas livres, utilizando somente os observáveis (como os campos de velocidades) para obter informações sobre o sistema. Nesse seção não discutiremos em detalhes o *kinemetry*, apenas os principais aspectos que são abordados por Krajnović et al. (2006).

No *kinemetry*, um campo de velocidades $K(a, \psi)$ é dividido em elipses e produz perfis de velocidade que podem ser descritos por um número finito de harmônicos, dados por:

$$K(a, \psi) = A_0(a) + \sum_{n=1}^N A_n(a) \sin(n\psi) + B_n \cos(n\psi), \quad (3.6)$$

onde a é o comprimento do semi-eixo maior da elipse e ψ está relacionado ao ângulo de posição. Segundo Krajnović et al. (2006), essa equação também pode ser reescrita como:

$$K(a, \psi) = A_0(a) + \sum_{n=1}^N k_n(a) \cos[n(\psi - \phi_n(a))], \quad (3.7)$$

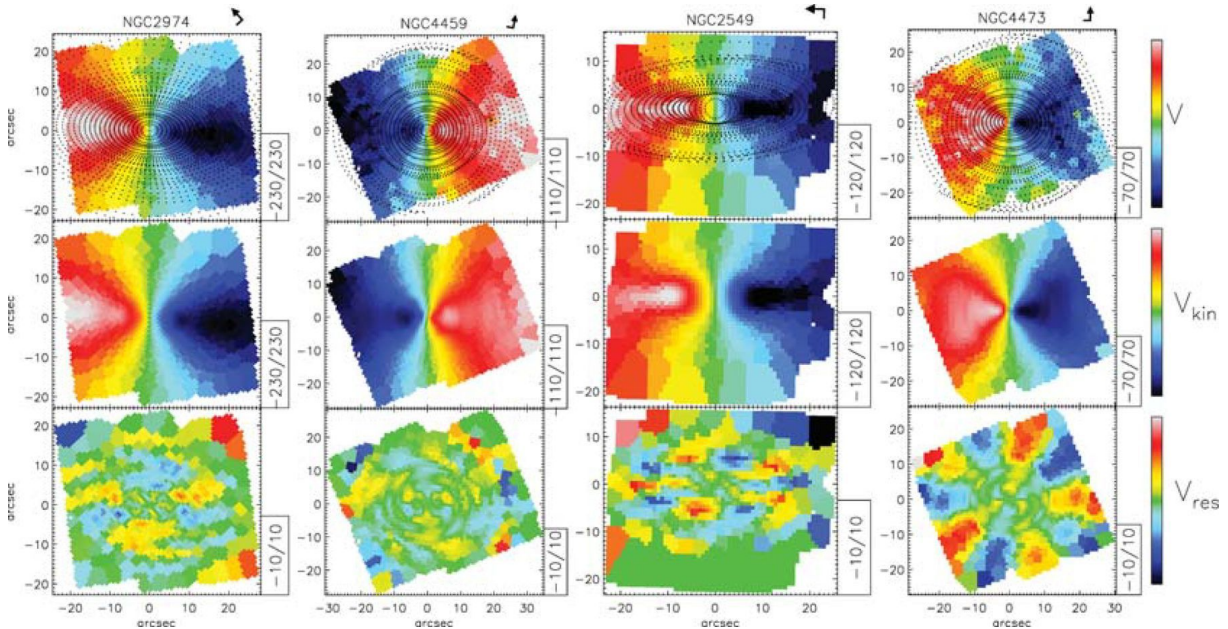
em que a amplitude k_n e o ângulo de fase ϕ_n , são obtidos através de $k_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ e de $\phi_n = \arctan(A_n/B_n)$.

A Figura 3.7 foi extraída de Krajnović et al. (2006) e mostra a aplicação do método *kinemetry* para quatro galáxias observadas pelo projeto SAURON (*Spectrographic Areal Unit for Research on Optical Nebulae*). Na Primeira linha são apresentados os mapas de velocidades observados, com as elipses que foram melhores ajustadas. Já na segunda linha são mostrados os modelos criados pelo *kinemetry* e na terceira os mapas de resíduos.

Esses mapas de resíduo foram obtidos fazendo os mapas do modelo ajustado pelo *kinemetry*, com termos de mais alta ordem para expansão da equação 3.7, menos o modelo que considera apenas o termo de primeira ordem do cosseno na equação 3.6. Esse termo está associado a um material (gás ou estrelas) que está num disco e cujo campo de velocidades pode ser representado por um movimento de rotação.

Logo, os mapas de resíduo indicam que para algumas galáxias, como NGC 2549 e NGC 4473 é importante usar uma expansão que não considere apenas a presença de um disco, e portanto, não assume o formato da geometria da distribuição de estrelas ou do gás. Isso indica que essas galáxias podem apresentar outras componentes além de rotação.

Figura 3.7 – Exemplo de aplicação do *kinemetry* para galáxias observadas pelo SAURON. A primeira linha apresenta os mapas de velocidade para NGC 2974, NGC 4459, NGC 2549 e NGC 4473. As elipses melhores ajustadas são plotadas sobre os mapas de velocidade. A segunda linha apresenta os mapas de velocidade reconstruídos usando o *kinemetry* e na terceira são mostrados os mapas de resíduos obtidos fazendo o modelo ajustado pelo *kinemetry* menos um modelo de rotação simples.



Fonte: Krajnović et al. (2006)

O *kinemetry* determina o ângulo de posição (*PA-Position Angle*) cinemático como função do raio das elipses usadas no método, então é necessário usar uma forma de obter o PA para todo o campo de velocidades, independentemente do raio, o chamado PA global. Krajnović et al. (2006) descreve que isso é feito simetrizando o campo de velocidades, onde para cada PA é construído um campo de velocidades bi(anti)simétrico $V'(x,y)$ com o eixo x ao longo do PA. $V'(x,y)$ é obtido substituindo a velocidade média $V(x,y)$ dentro de cada bin pela média ponderada da velocidade nos quatro quadrantes, ou seja:

$$V'(x,y) = \frac{V(x,y) + V(x,-y) - V(-y,x) - V(-x,-y)}{4}, \quad (3.8)$$

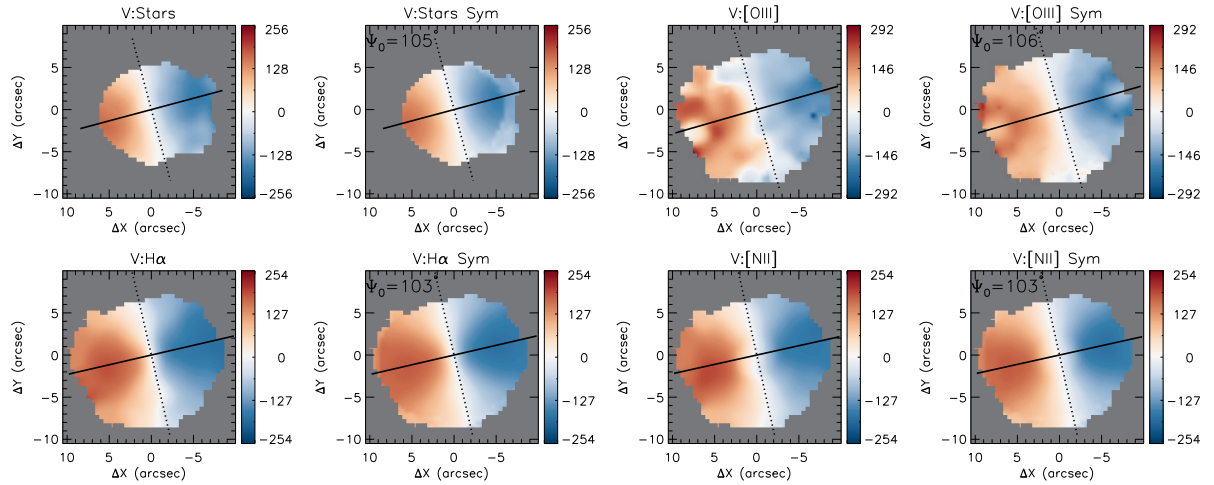
onde (x,y) são as coordenadas do centro de cada bin. Assim, o PA que melhor define o campo de velocidades observado é aquele que minimiza χ^2 , que é expresso por:

$$\chi^2 = \sum_{n=1}^N \frac{V'(x,y) - V(x,y)}{\Delta V}. \quad (3.9)$$

Na Figura 3.8 apresentamos os campos de velocidade observados e o campo simetrizado utilizando o procedimento descrito anteriormente para a galáxia *mangaid* 1-166919 da nossa amostra, além disso também é apresentado o PA obtido (Ψ_0). Nessa figura fica claro o efeito da simetrização dos campos de velocidades, principalmente para o campo de velocidades do

[O III] λ 5007.

Figura 3.8 – Campos de velocidades observados e simetrizados para as estrelas, [O III], H α e [N II] para a galáxia *mangaid* 1-166919. A linha preta sólida indica o ângulo de posição Ψ_0 . Os campos de velocidades são apresentados em unidades de km s^{-1} .



4 ARTIGO: THE FIRST 62 AGN OBSERVED WITH SDSS-IV MANGA – III: STELLAR AND GAS KINEMATICS

Neste capítulo apresentamos o artigo submetido à publicação no periódico *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, *The first 62 AGN observed with SDSS-IV MaNGA – III: stellar and gas kinematics*, onde são descritos os resultados obtidos para análise do efeito do *feedback* do AGN sobre a galáxia hospedeira em uma amostra de 62 galáxias ativas do *survey* MaNGA.

O grupo editorial Oxford University Press (OUP) responsável pelo periódico Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS) permite aos autores do artigo a utilização do mesmo em teses e dissertações, sem ser necessário solicitar autorização prévia do Oxford University Press¹.

¹<https://global.oup.com/academic/rights/permissions/autperm/?cc=gblang=en>.

The first 62 AGN observed with SDSS-IV MaNGA – III: stellar and gas kinematics

Gabriele S. Ilha,^{1,2*} Rogemar A. Riffel,^{1,2} Jaderson S. Schimoia,^{1,2,3}
 Thaisa Storchi-Bergmann,^{3,2} Sandro B. Rembold,^{1,2} Rogério Riffel,^{3,2}
 Dominika Wylezalek,⁴ Yong Shi,⁵ Luiz N. da Costa,^{2,6} Alice D. Machado,^{1,2}
 David R. Law,^{7,8} Dmitry Bizyaev,^{9,10} Nicolas D. Mallmann,^{3,2} Janaina Nascimento,^{3,2}
 Marcio A. G. Maia,^{2,6} Rafael Cirolini^{1,2}

¹Departamento de Física, CCNE, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil

²Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia - LIneA, Rua Gal. José Cristino 77, Rio de Janeiro, RJ - 20921-400, Brazil

³Departamento de Física, IF, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CP 15051, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

⁴European Southern Observatory, Karl-Schwarzschildstr 2, 85748 Garching bei München, Germany

⁵Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093, China

⁶Observatório Nacional - MCT, Rua General José Cristino 77, Rio de Janeiro, RJ - 20921-400, Brazil

⁷Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Drive, Baltimore, MD 21218, USA

⁸Dunlap Institute for Astronomy and Astrophysics, University of Toronto, 50 St. George Street, Toronto, Ontario M5S 3H4, Canada

⁹Apache Point Observatory, PO Box 59, Sunspot, NM 88349, USA

¹⁰Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, 119992 Moscow, Russia

Accepted XXX. Received YYY; in original form ZZZ

ABSTRACT

We investigate the effects of Active Galactic Nuclei (AGN) on the gas kinematics of their host galaxies, using MaNGA data for a sample of 62 AGN hosts and 109 control galaxies (inactive galaxies). We compare the gas and stellar velocity fields for the two samples and do not find any difference in the Position Angle (PA) offsets between the line of nodes of gas and stars for AGN hosts and control galaxies. However, we note that AGN have larger fractional velocity dispersion σ differences between gas and stars [$\sigma_{\text{frac}} = (\sigma_{\text{gas}} - \sigma_{\text{stars}}) / \sigma_{\text{stars}}$] when compared to their controls, as obtained from the velocity dispersion values of the central (nuclear) pixel (2''5 diameter). The AGN have a median value of σ_{frac} of $\langle \sigma_{\text{frac}} \rangle_{\text{AGN}} = 0.04$, while the median value for the control galaxies is $\langle \sigma_{\text{frac}} \rangle_{\text{CTR}} = -0.23$. 75% of the AGN show $\sigma_{\text{frac}} > -0.13$, while 75% of the normal galaxies show $\sigma_{\text{frac}} < -0.04$, thus we suggest that the parameter σ_{frac} can be used as an indicative of AGN activity. We find a correlation between the [O III] λ 5007 luminosity and σ_{frac} for our sample. Our main conclusion is that the AGN already observed with MaNGA are not powerful enough to produce important outflows at galactic scales, but at 1-2 kpc scales, AGN feedback signatures are always present on their host galaxies.

Key words: galaxies: active – galaxies: kinematics and dynamics – galaxies: general

1 INTRODUCTION

Theoretical studies and numerical simulations suggest that Active Galactic Nuclei (AGN) play an important role in the evolution of their host galaxies (e.g. Hopkins et al. 2005). Currently, it is widely accepted that galaxies with spherical component (bulge of spiral galaxies and elliptical galaxies) host a central supermassive black hole (SMBH, Ferrarese &

Merritt 2000; Gebhardt et al. 2000; Tremaine et al. 2002; Scannapieco et al. 2005) and cosmological simulations that do not include feedback effects from the SMBH result in galaxy stellar masses much higher than observed (Di Matteo et al. 2005; Springel et al. 2005; Bower et al. 2006). Massive outflows originated in the accretion flow are claimed to regulate and couple the growth of the galactic bulge and SMBH (Hopkins et al. 2005) and to explain the relation between the mass of the SMBH and stellar velocity dispersion of the

* E-mail: gabrieleilha1994@gmail.com

2 *Ilha et al.*

bulge – the $M - \sigma$ relation (e.g. Ferrarese & Merritt 2000; Gebhardt et al. 2000).

According to the Unified Model for AGN (e.g. Antonucci 1993; Urry & Padovani 1995), the Narrow Line Region (NLR) is expected to present a bi-conical shape, within which gas outflows due to winds from the accretion disk are expected to be observed. However, Hubble Space Telescope (HST) narrow-band [O III] λ 5007 images of a sample of 60 nearby Seyfert galaxies show that the bi-conical shape of the NLR is not as common as expected (Schmitt et al. 2003) and gas outflows are seen only in 33% of Seyfert galaxies, as revealed by long-slit spectroscopy of 48 nearby AGN (Fischer et al. 2013). Nevertheless, long-slit observations are restricted to only one position angle. A better mapping of the outflows and their geometries can be obtained via integral field spectroscopy (IFS), as shown in recent studies both in the optical and near-infrared (e.g. Lena et al. 2015; Schnorr-Müller et al. 2014; Zakamska et al. 2016; Riffel et al. 2014; Barbosa et al. 2014).

The comparison between the gas and stellar kinematics on kiloparsec scales allows the study of the possible impact of AGN outflows on its host galaxy. So far, most studies aimed to investigate gas outflows from AGN have been performed for small samples or individual galaxies. In this work we use the observations from the Mapping Nearby Galaxies at the Apache Point Observatory (MaNGA) survey (Bundy et al. 2015) to compare the gas and stellar kinematics of a sample composed by 62 AGN observed in the MPL-5 (MaNGA Product Launch V) (Data Release 14, Abolfathi et al. 2018) with those of a control sample of inactive galaxies, matched with the AGN sample by properties of the host galaxies.

The AGN and control samples used in this paper are described in Rembold et al. (2017) (hereafter Paper I), which presents also the study of the nuclear stellar populations. This is the third paper of a series aimed to compare properties of AGN hosts and their control galaxies. Besides Paper I, the spatially resolved stellar populations is investigated in Mallmann et al. (2018) (Paper II). In addition, the gas excitation and distribution will be presented by Nascimento et al. (in preparation – Paper IV).

This paper is organized as follows: Section 2 presents the samples of active and inactive galaxies and the data analysis methods, while Section 3 presents the results, which are discussed in Section 4. Finally, the conclusions of this work are presented in Section 5.

2 THE DATA AND ANALYSIS

2.1 Sample and MaNGA data

We use the datacubes obtained within the MaNGA survey of the sample of AGN and matched control sample defined in Paper I. The MaNGA survey is part of the fourth-generation Sloan Digital Sky Survey (SDSS-IV) and is aimed to observe $\sim 10,000$ nearby galaxies using optical Integral Field Spectroscopy (IFS) covering the spectral range 3600–10000 Å and spectral resolving power $R \sim 2000$ at a spatial resolution of 1–2 kpc. The MaNGA sample of galaxies was designed to cover at least $1.5R_e$ (effective radius). The MaNGA survey science goals are presented in Bundy et al. (2015), the design and performance of the Integral Field Units are discussed in

Drory et al. (2015) and the MaNGA sample is presented in Wake et al. (2017). Yan et al. (2016b) present the survey design, execution, and data quality, the observing strategy is presented in Law et al. (2015) and the data reduction and calibrations are discussed in Law et al. (2016) and Yan et al. (2016a).

Our sample is composed by the first 62 AGN observed with MaNGA – selected from MaNGA MPL-5 (Data Release 14, Abolfathi et al. 2018). For each AGN, two control inactive galaxies, matched to the AGN hosts in absolute magnitude, galaxy mass, redshift, morphological type and inclination, were selected. The AGN selection realized by Rembold et al. (2017) is based on single-fibre SDSS-III observations. A detailed description and characterization of the AGN and control samples is presented in Paper I. Wylezalek et al. (2018) found 173 galaxies that would not have been selected as AGN candidates based on single-fibre spectral measurements, but MaNGA allowed AGN selection based on the fully spatially resolved optical diagnostics and in the future papers similar work will be done for “nuclear” AGN and “off-nuclear” AGN. Thus, in this work we focus on the “nuclear” AGN.

2.2 Spatial filtering and noise removal

In order to remove noise from the observed datacubes, without loss of angular resolution, we performed a spatial filtering of the datacubes using a Butterworth bandpass filter (Gonzalez & Woods 2002). This filter is performed in the frequency domain. We used a low-bandpass filter to remove high spatial frequency components from the cubes, which are usually due to spurious features (e.g. bad pixels or cosmic rays). This procedure allow us to improve the fit the emission and absorption line spectra, as compared with the original datacubes.

To perform the spatial filtering, we used the Interactive Data Language (IDL) routine *bandpass_filter.pro*, which allows the choice of the cut-off frequency (ν) and the order of the filter n . A low value of n (e.g. 1) is close to a Gaussian filter, while a high value (e.g. 10) corresponds to an Ideal filter. We used $n = 5$ and $\nu = 0.25$ Ny, chosen by comparing the filtered cubes with the original ones. For lower values of ν , besides the removal of spatial noise, the filter excludes also emission from the nucleus of the galaxy.

2.3 Spectral fitting

In order to measure the emission-line fluxes and the stellar and gas kinematics from the MaNGA datacubes, we used the Gas AND Absorption Line Fitting (GANDALF) code (Sarzi et al. 2006; Oh et al. 2011). In brief, the GANDALF code fits the emission and absorption lines simultaneously, allowing the separation of the relative contribution of the stellar continuum and of nebular emission in the spectra of the galaxies. To subtract the underlying stellar contribution on the spectra of the galaxy and measure the stellar kinematics, GANDALF uses the Penalized Pixel-Fitting (PPXF) routine (Cappellari & Emsellem 2004; Cappellari 2017). The continuum spectra of the galaxy is fitted by using a library of template spectra under the assumption that the line-of-sight velocity distribution (LOSVD) of the stars is well reproduced by a Gauss-Hermite series.

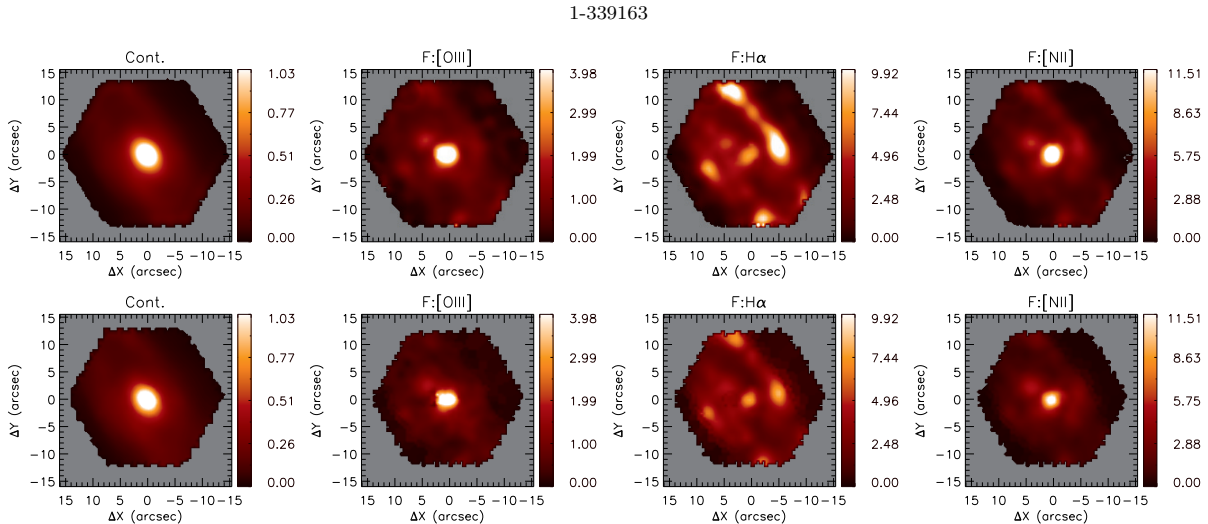


Figure 1. Emission lines fluxes for the galaxy with *mangaid* 1-339163. Our measurements are shown at the top row and the MaNGA-DAP measurements at the bottom row. In all panels, the North points up and East to the left and the x and y labels show the distance relative to the peak of the continuum emission. The first column shows a map of the continuum emission obtained by collapsing the whole spectral range, the following columns exhibit the spatial distribution of the emission line fluxes for [O III] λ 5007 Å, H α and [N II] λ 6583 Å, respectively.

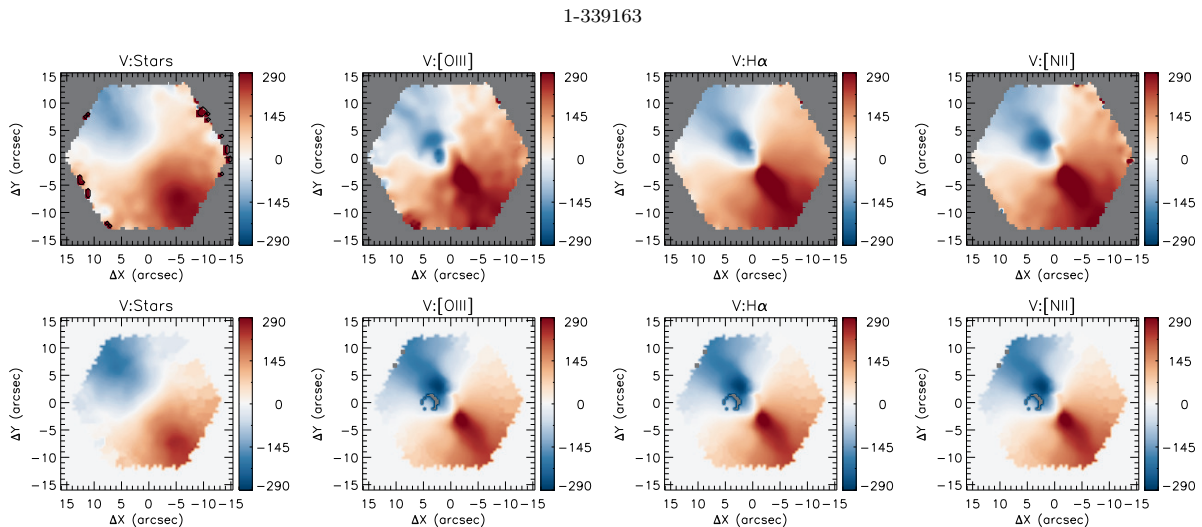


Figure 2. Velocity fields for the galaxy *mangaid* 1-339163. Our measurements are shown at the top row and the DAP measurements at the bottom row. In all panels, the North points up and East to the left and the x and y labels show the distance relative to the peak of the continuum emission. The systemic velocity has been subtracted from each panel. The first column shows the stellar velocity field and the following columns exhibit the velocity fields for [O III], H α and [N II], respectively.

As template spectra, we used 30 selected Evolutionary Population Synthesis models from [Bruzual & Charlot \(2003\)](#), covering ages ranging from 5 Myr to 12 Gyr and three metallicities ($0.004Z_{\odot}$, $0.02Z_{\odot}$, $0.05Z_{\odot}$). During the fit of the spectra, we allowed the use of an order 3 multiplicative Legendre polynomial to correct the shape of the continuum and only the first two Gauss-Hermite moments (velocity and velocity dispersion) were included to represent the LOSVD. We have tested the inclusion of higher order moments, but

achieved the best results in the fitting process by considering only the first and second moments.

The emission-line profiles were fitted by Gaussian curves, by keeping tied the centroid velocity and width of the [N II] λ 6548, 6583 and [S II] λ 6716, 6731 emission lines, fitting each doublet separately. In addition, the following line flux-ratio was kept fixed to their theoretical value: [N II] λ 6583/[N II] λ 6548 = 2.94 ([Osterbrock & Ferland 2006](#)). GANDALF gives as output measurements for the centroid velocity and velocity dispersion (σ) of the stars, and the flux,

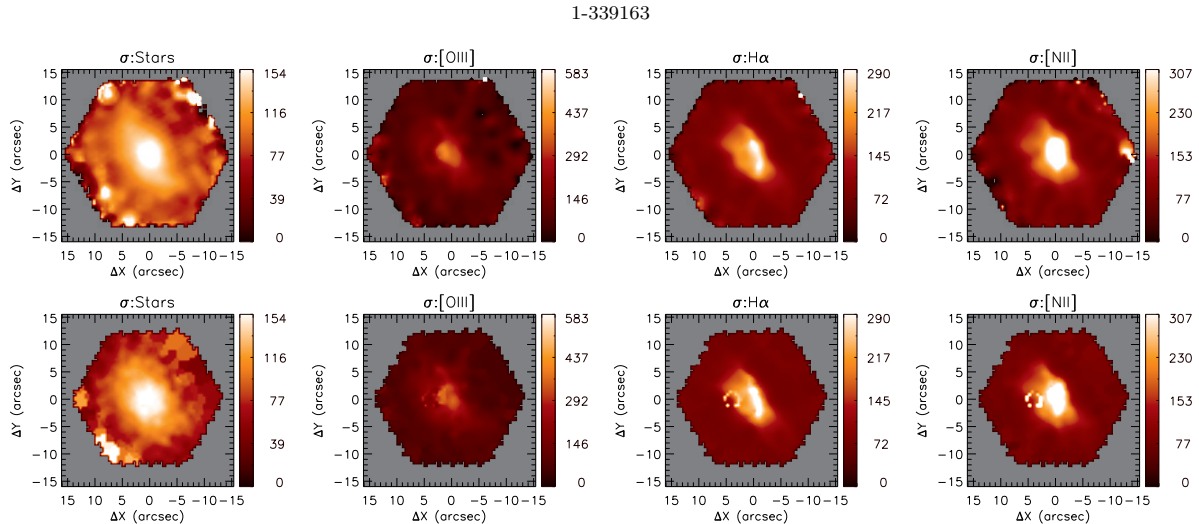


Figure 3. Velocity dispersion maps for the galaxy with *mangaid* 1-339163. Our measurements are shown at the top row and the DAP measurements at the bottom row. In all panels, the North points up and East to the left and the x and y labels show the distance relative to the peak of the continuum emission. The first column shows the stellar velocity dispersion distribution and the following columns exhibit the gas velocity dispersion distributions for [O III], $H\alpha$ and [N II], respectively.

centroid velocity and σ of the emission lines for each spaxel, used to construct two-dimensional maps.

2.4 Measurements of the Kinematic Position Angles

In order to measure the position angle (Ψ_0) of the line of nodes from the stellar and gas velocity fields we used the kinemetry method (Krajnović et al. 2005). This method extracts general kinematic properties of the galaxies by the symmetrization of the observed velocity fields, without the need of any assumption on the geometry of the stellar distribution.

We used the IDL routine *fit_kinematic_pa.pro*¹, which is an implementation of the kinemetry method and allows the measurement of the global kinematic PA and systemic velocity of the galaxy from the observed velocity fields. The routine is an implementation of the method presented in Appendix C of Krajnović et al. (2006) and has been used to study the stellar kinematics of large samples of galaxies, as for example the SAURON (Cappellari et al. 2007) and ATLAS^{3D} (Krajnović et al. 2011) surveys.

3 RESULTS

We have performed measurements for the stellar and gas kinematics and emission-line fluxes for $H\beta$, [O III] $\lambda 5007$, $H\alpha$, [N II] $\lambda\lambda 6549, 83$ and [S II] $\lambda\lambda 6716, 31$. With the aim of testing our measurements, we have compared the emission-line fluxes, centroid velocities and velocity dispersions with measurements provided by the MaNGA Data Analysis

¹ This routine was developed by M. Cappellari and is available at <http://www-astro.physics.ox.ac.uk/mxc/software>

Pipeline (DAP – Westfall K. B., in prep.), as part of the MPL-7.

Figure 1 shows an example of our measurements (top row) compared with those from the DAP (bottom row) for the AGN *mangaid* 1-339163. The first column shows a map of the continuum emission, the following columns exhibit maps of emission line fluxes for [O III] 5007 \AA , $H\alpha$ and [N II] 6583 \AA , respectively. The comparison between the top and bottom rows show that our flux measurements are similar to those provided by the DAP.

In Figure 2 we show the velocity fields for the same galaxy *mangaid* 1-339163. We present the stellar velocity field together with the gas velocity fields derived for the same emission lines presented in Fig. 1. For comparison, we show our results in the top row while the results from DAP are shown in the bottom row. The comparison show that the two velocity fields are similar, although the DAP maps are noisier.

The comparison of the velocity dispersion maps obtained by us and from the DAP is shown in Figure 3, following the same pattern of organization as the previous figures. As for the centroid velocity and emission-line flux maps, the σ maps from DAP are noisier than ours. The gas and stellar σ values will be used to search for outflows in the central region of the galaxies of our sample.

As noticed in Figs 1–3, our measurements are in general consistent with those provided by DAP, but the spatial filtering of the data allows the exclusion of spurious data, as clearly seen in the maps for the [N II] 6583 \AA and $H\alpha$ velocity dispersion, for which the maps constructed using the DAP shows a spurious feature at $4''$ east of the nucleus, which is not present in our measurements. On the other hand, the DAP has the advantage of providing measurements for all emission lines present in the galaxy spectra, while we fit only the strongest lines. However, a detailed comparison of our

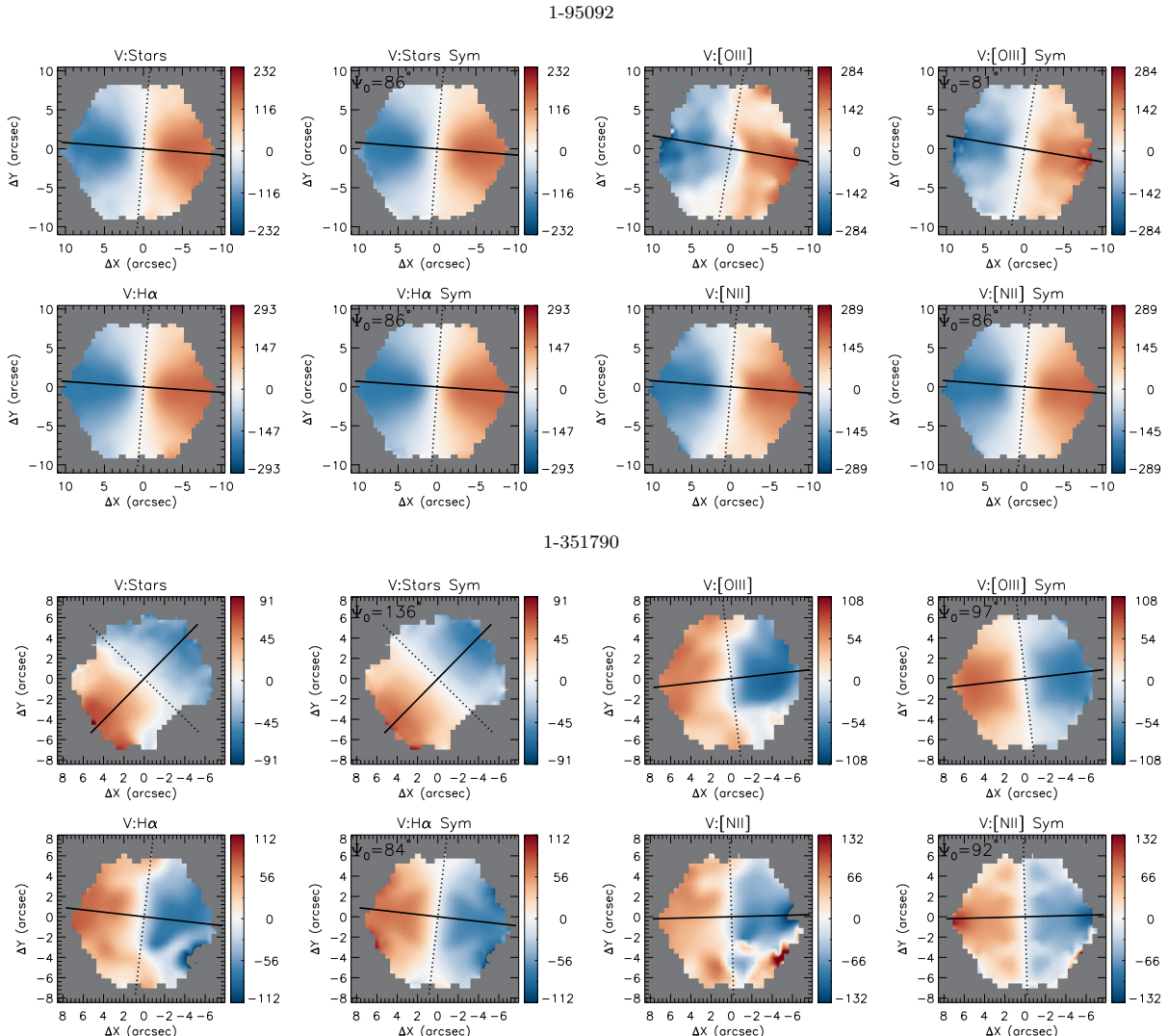


Figure 4. In the first two rows we show the derived velocity fields for the AGN *mangaid* 1-95092. The first row shows, from left to right, the stellar velocity field (V:Stars), the symmetrized stellar velocity field (V:Stars Sym), the gas velocity field for [O III] (V:[O III]), and the corresponding symmetrized velocity field (V:[O III] Sym). The second row shows, from left to right, the H α velocity field (V:H α), its symmetrized velocity field (V:H α Sym), the velocity and symmetrized velocity fields for [N II] (V:[N II]) and (V:[N II] Sym), respectively. In the bottom two rows we show the same velocity maps but for the AGN *mangaid* 1-351790. In all velocity maps the solid black line shows the position angle of kinematic major axis, the value of the Ψ_0 is shown in the top right-corner of the symmetrized velocity maps. The continuous (dotted) line shows the orientation of the kinematic major (minor) axis of the galaxy.

measurements and those provided by DAP is beyond the scope of this paper.

In order to verify if outflows of gas from the central AGN affects significantly the kinematics of AGN hosts, we can compare the kinematic position angle (Ψ_0) of the gas and stellar velocity fields. The motion of the stars is dictated by the gravitational potential of the galaxy, while for the gas, an additional component due to outflows is expected for the AGN. By comparing the difference between the Ψ_0 values derived from the gas and stellar velocity fields for AGN and

control samples, one should expect larger differences for the AGN if strong outflows are present.

We derived Ψ_0 for the stellar and gas velocity fields using [O III]5007 Å, H α and [N II]6583 Å emission lines. In Figure 4 we show two examples of the observed and symmetrized velocity fields for two AGN (*mangaid* 1-95092 and *mangaid* 1-351790). This figure illustrates two distinct results: (i) the Ψ_0 from distinct emission-line velocity fields are very similar to each other for both galaxies; (ii) for the galaxy *mangaid* 1-95092 the Ψ_0 derived from the stellar velocity field is very similar to that derived for the gas velocity

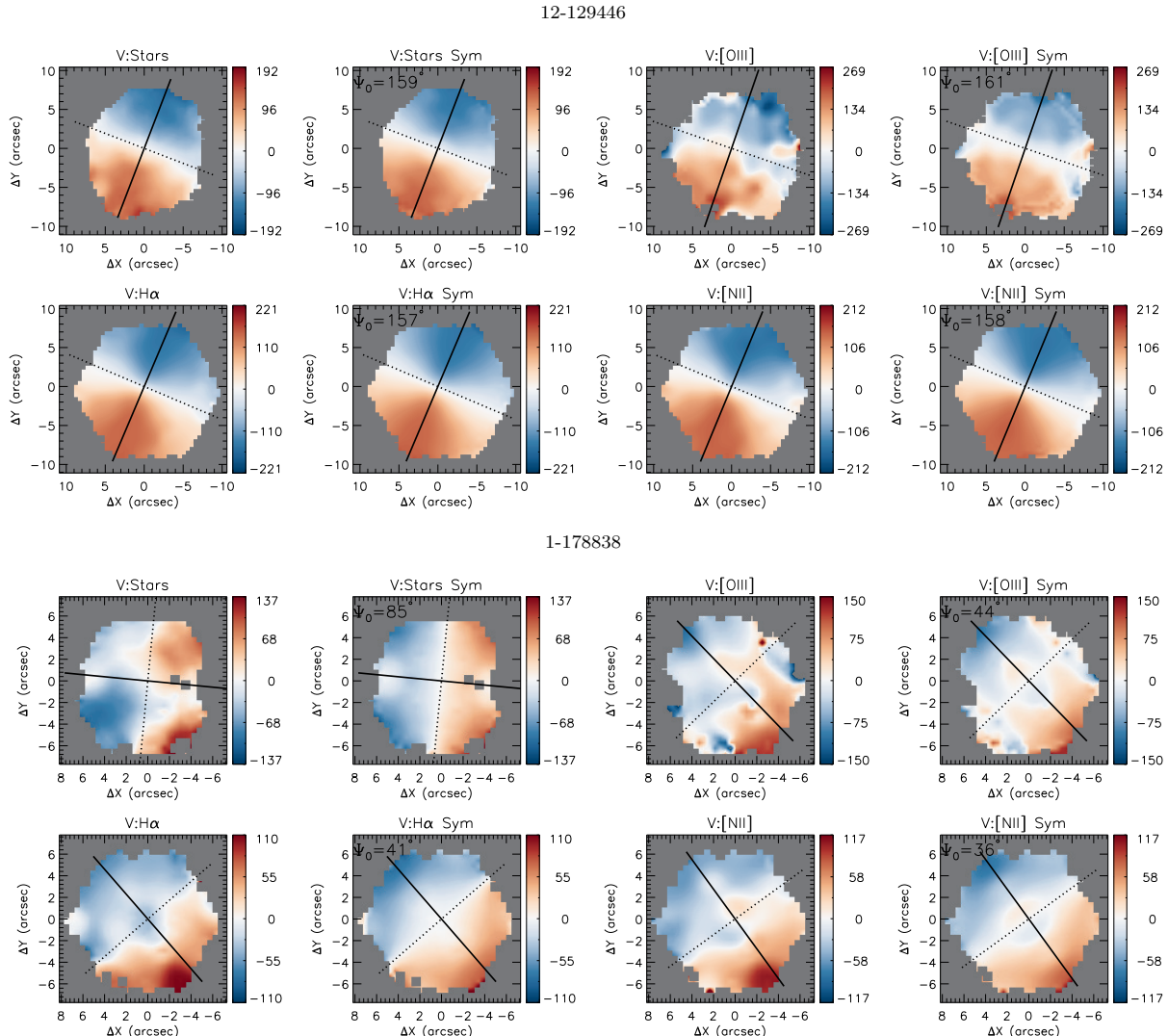
6 *Ilha et al.*

Figure 5. Same as Fig. 4 for the control galaxies *mangaid* 12-129446 (first and second row) and *mangaid* 1-178838 (third and fourth row).

field. (iii) in the case of the AGN host *mangaid* 1-351790 the orientation of the kinematic major axis of the stellar and gas velocity fields show a significant offset. In Figure 5 we show a similar figure for two control galaxies: *mangaid* 12-129446 and *mangaid* 1-178838, showing similar results as those observed for the AGN: similar Ψ_0 for all emission lines and in one case a distinct Ψ_0 for the gas and stars. From Fig. 4 and Fig. 5 we can conclude that for this galaxies both AGN and controls present a rotation pattern in the stellar as well as in the gas velocity fields. In Table A1 we present the kinematic position angle derived for all galaxies of our sample.

4 DISCUSSION

In order to investigate if the AGN feedback in our sample is powerful enough to disturb the gas kinematics on galactic scales and change the orientation of the kinematic major axis of the galaxy, we calculated the frequency of occurrence of a given PA offset in the AGN and control samples. We computed the difference in the Ψ_{0*} of the stellar velocity field with respect to the $\Psi_{0\text{gas}}$ derived for [O III]5007 Å, Hα and [N II]6583 Å emission-line velocity fields. The resulting histograms of the PA offsets ($\Delta\text{PA} = |\Psi_{0\text{gas}} - \Psi_{0*}|$) are presented in Figure 6. The top panels show the results using the [O III] velocity fields, while the middle panel show these results for Hα and the bottom panel for [N II]. AGN are represented by blue colors and control galaxies are shown red.

We find no clear difference between ΔPA of AGN and

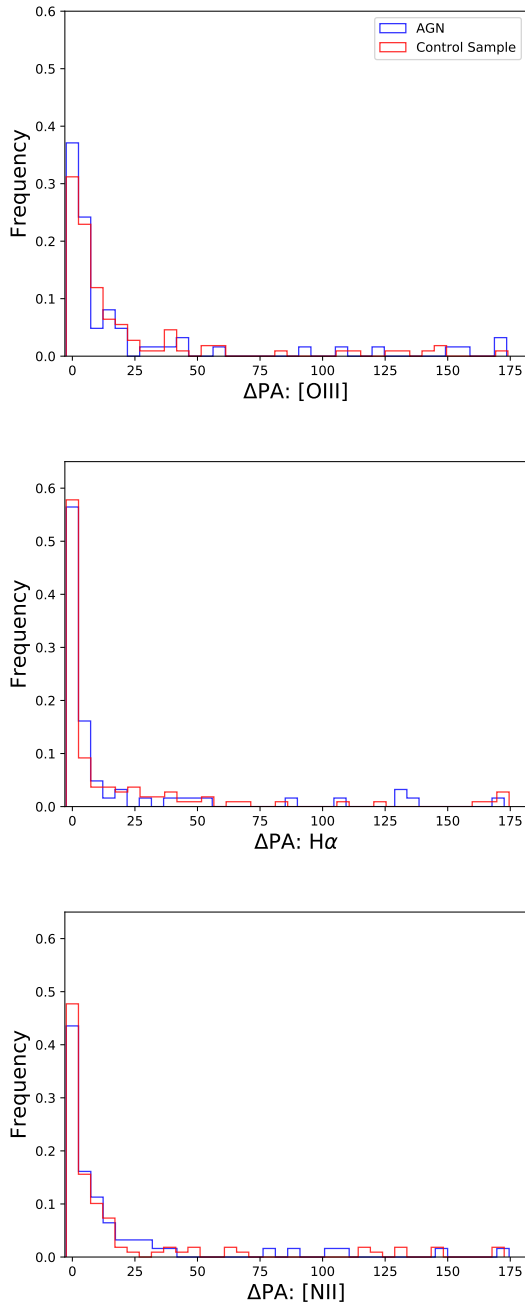


Figure 6. Histograms comparing ΔPA distributions of AGN and control galaxies for $[\text{O III}]\lambda 5007$ (top panel), $\text{H}\alpha$ (middle panel) and $[\text{N II}]\lambda 6583$ (bottom line). AGN are shown in blue and controls in red.

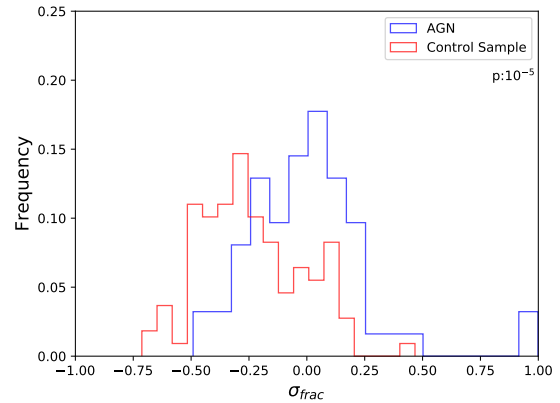


Figure 7. Histograms comparing σ_{frac} distributions of AGN and control galaxies for $[\text{O III}]\lambda 5007$. AGN are shown in blue and controls in red. The result of Anderson-Darling statistical test returns a p-value of 10^{-5} , confirming that AGN and inactive galaxies follow distinct distributions in σ_{frac} .

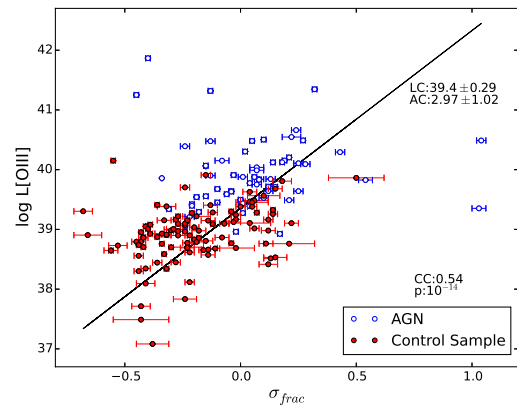


Figure 8. Plot of logarithm of $[\text{O III}]\lambda 5007 \text{ \AA}$ luminosity versus σ_{frac} for AGN (blue open circles) and inactive galaxies (red closed circles). The Spearman test confirms that these properties are correlated resulting in a correlation coefficient of 0.54 and p-value of 10^{-14} . The black line is the result of linear fit of data, with linear coefficient of $LC = 39.4 \pm 0.29$ and angular coefficient of $AC = 2.97 \pm 1.02$.

control galaxies. Although we see significant ΔPA in a few galaxies, in most of them it is smaller than 30° , indicating that the AGN feedback is not strong enough to disturb the gas kinematics on the galactic scales probed by MaNGA. Indeed, the sample of active galaxies used here is composed mainly by low-luminosity AGN (Rembold et al. 2017), for which outflows from the accretion disk are expected to be weak and thus the gas velocity fields of these AGN hosts on galactic scales are expected to be driven by the gravitational potential of the galaxy. Besides that, Wylezalek et al. (2017) only find evidence for an AGN-driven outflow in a MaNGA-

selected AGN candidate when zoom into the center with higher spatial resolution. The resolution of MaNGA is only $1''.5-2''.5$, so a lot of small scale outflows may be hidden. We do not find any clear difference in the ΔPA of high and low luminosity AGN.

Penny et al. (2018) analyzed low-mass galaxies ($M_* \lesssim 5 \times 10^9 M_\odot$) of the SDSS-IV MaNGA and found that five galaxies of their sample of 13 possible dwarf AGN host, exhibit ionized gas components in H α that are kinematically offset from their stellar velocity field and these objects have AGN-like emission line ratios at their centers. This fact has been interpreted as due to a recent accretion episode or outflow. Furthermore, Penny et al. (2018) suggest that AGN feedback may play an important role in these low-mass galaxies. Their sample can be considered an analogous of the ‘‘Red Geysers’’ galaxies reported by Cheung et al. (2016) using MaNGA data. These galaxies do not show recent star formation activity, most of them harbor very low luminosity AGN, showing large scale bi-polar outflows in ionized gas and interpreted as being originated by centrally driven winds due to a Radiatively Inefficient Accretion Flow onto the Supermassive Black Hole. These galaxies show stellar and gas kinematic major axes misaligned and account for 10% of the population of galaxies with masses of the order of $2 \times 10^{10} M_\odot$ that do not show recent star formation episodes. Although some galaxies of our sample show $\Delta PA > 30^\circ$, as seen in Fig. 6, the fraction of AGN and control galaxies with significant PA offset are similar (21% and 19% for AGN and control sample, respectively), suggesting that these offsets are not associated to the presence AGN and probably they are just statistical fluctuations. Thus, we show that standard AGN do not follow the same behaviour of ‘‘Red Geyser’’ galaxies analyzed by Cheung et al. (2016) and the low-mass galaxies presented in Penny et al. (2018), as we do not detect significant PA offsets.

The fact that there are no significant PA offsets in our sample does not necessarily mean that the AGN do not show outflows, although it implies they do not play an important role in the galaxy scale gas kinematics. However, AGN driven outflows could be seen on smaller scales.

In order to search for signatures of outflows closer to the nuclei of the galaxies, we have compared the stellar and gas velocity dispersion values within the inner $2''.5$ diameter of the galaxies of our sample, as this aperture corresponds to the angular resolution of the MaNGA datacubes. In Table A1 we show these velocity dispersion values. On average, the $2''.5$ aperture corresponds to a physical scale of ~ 2 kpc at the typical redshift of the sample galaxies. In order to quantify the differences between the stellar and gas velocity dispersions measured in the central regions we calculated the parameter σ_{frac} , defined as:

$$\sigma_{\text{frac}} = \frac{\sigma_{\text{gas}} - \sigma_*}{\sigma_*}, \quad (1)$$

which measures the fractional difference between the gas and stellar velocity dispersion, and thus higher values of σ_{frac} are indicative of a disturbed kinematics (not only due to the gravitational potential of the galaxy) and most probably due to outflows.

We see a trend of AGN having generally higher σ_{frac} values than inactive galaxies as can be seen in the distributions shown in Figure 7. The median values of σ_{frac}

for AGN and control sample are $\langle \sigma_{\text{frac}} \rangle_{\text{AGN}} = 0.04$ and $\langle \sigma_{\text{frac}} \rangle_{\text{CTR}} = -0.23$, respectively. Besides that, we note that 90% of AGN have σ_{frac} larger than -0.22 and 75% of them have values larger than -0.13 . For the control sample, 90% of the galaxies show $\sigma_{\text{frac}} < 0.12$ and for 75% of the sample $\sigma_{\text{frac}} < -0.04$. The result of the Anderson-Darling statistical test returns a p-value of 10^{-5} , that confirms that the AGN and inactive galaxies follow distinct distributions in σ_{frac} . We thus conclude that the parameter σ_{frac} can be used as an indicative of AGN activity.

We derived the luminosity of the [O III] $\lambda 5007$ Å emission line ($L_{[\text{O III}]}$) of each galaxy (Table A1) using the flux measurements obtained with the GANDALF code within the same aperture used to measure the σ_{frac} , and then investigated a possible correlation between σ_{frac} and $L_{[\text{O III}]}$. Figure 8 shows the plot of $L_{[\text{O III}]}$ vs. σ_{frac} for the AGN and control samples. There is a clear positive correlation between σ_{frac} and $L_{[\text{O III}]}$, with a Spearman correlation coefficient of 0.54 and a p-value of 10^{-14} . This result can be interpreted as the higher values seen for AGN as compared to control galaxies being due to winds originated in the AGN. As the luminosity of the AGN increases, the kinetic power of the outflows increases, resulting in higher values of σ_{frac} . Thus, although the AGN of the sample do not show powerful outflows that can affect the gas kinematics on galactic scales, they do show small scale outflows (within the inner 1-2 kpc). However, it should be noticed that the observed correlation could be artificially produced, as the AGN and inactive galaxies clearly show distinct distributions in σ_{frac} (Fig. 7). The Spearman test returns a p-value of 0.06 for the AGN sample and 10^{-5} for the control sample, meaning that no clear correlation is found between the $L_{[\text{O III}]}$ and σ_{frac} for the AGN sample alone, while these parameters are correlated for the control sample. The absence of correlation for the AGN may be due to the fact that our sample spread only a small range of luminosities, as most objects are low-luminosity AGN (Rembold et al. 2017).

Our results can be compared with those obtained from single aperture spectra. For example, Woo et al. (2017) find that there is a trend of the [O III] $\lambda 5007$ Å velocity dispersion to increase with the increase of the AGN luminosity in a sample of $\sim 110,000$ AGN and star-forming (SF) galaxies at $z < 0.3$. This trend is also present in composite objects and is not clear for star-forming galaxies. They interpreted this result as due to strong gas outflows in high luminosity AGN, indicating that AGN energetics are driving these outflows. They find also lower average [O III] velocity dispersion values for star-forming galaxies. Our result is in good agreement with theirs. In addition, optical observations (Wylezalek et al. 2016), radio observations (Zakamska & Greene 2014) and molecular gas (Veilleux et al. 2013) as well as theoretical models (Zubovas & King 2012b) have suggested that the AGN needs to have enough luminosity for the gas to be pushed out of the galactic potential. This is in agreement with our results, where we see a positive correlation between σ_{frac} and luminosity.

5 CONCLUSIONS

We have mapped the gas and stellar kinematics of a sample of 62 AGN and 109 control galaxies (inactive galaxies) in

order to investigate the effect of the AGN in the large and small scale gas kinematics of the AGN host galaxies. We detect evidence of nuclear gas outflows in the 62 AGN, but conclude they are not powerful enough to play an important role in the gas kinematics on galactic scales. The main conclusions of our work are:

- There is no significant difference in the Δ PA between active and inactive galaxies, indicating that the galaxy scale gas kinematics is dominated by orbital motion in the gravitational potential of the galaxies, instead of outflows driven by the central AGN.
- We found that the difference between the orientation of the kinematic major axes of the gas and stars (Δ PA) is larger than 30° for 13 (21%) AGN and 21 control galaxies (19%) using the [O III]5007 Å kinematics.
- The AGN show larger fractional differences in the velocity dispersions of the gas and stars $\sigma_{\text{frac}} = \frac{\sigma_{\text{OIII}} - \sigma_*}{\sigma_*}$ than inactive galaxies within the inner $2''5$ diameter, that corresponds to 1-2kpc at the galaxies. The mean values are $\sigma_{\text{frac}}=0.05$ for the AGN and $\sigma_{\text{frac}}=-0.23$ for the control sample. This difference is interpreted as being due to outflows from the active nuclei. This indicates that, although the AGN of our sample do not affect the gas kinematics on large scale, it does affect it at least within the inner kpc.
- We find a correlation between [O III]5007 Å luminosity and σ_{frac} when putting together the AGN and control samples, indicating the the impact of the outflows increase with the luminosity of the AGN.

ACKNOWLEDGEMENTS

Funding for the Sloan Digital Sky Survey IV has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation and the Participating Institutions. SDSS-IV acknowledges support and resources from the Center for High-Performance Computing at the University of Utah. The SDSS web site is www.sdss.org. SDSS-IV is managed by the Astrophysical Research Consortium for the Participating Institutions of the SDSS Collaboration including the Brazilian Participation Group, the Carnegie Institution for Science, Carnegie Mellon University, the Chilean Participation Group, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Instituto de Astrofísica de Canarias, The Johns Hopkins University, Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU) / University of Tokyo, Lawrence Berkeley National Laboratory, Leibniz Institut für Astro physik Potsdam (AIP), Max-Planck-Institut für Astrophysik (MPA Garching), Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE), Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA Heidelberg), National Astronomical Observatory of China, New Mexico State University, New York University, The Ohio State University, Pennsylvania State University, Shanghai Astronomical Observatory, United Kingdom Participation Group, Universidad Nacional Autónoma de México, University of Arizona, University of Colorado Boulder, University of Portsmouth, University of Utah, University of Washington, University of Wisconsin, Vanderbilt University, and Yale University. We thank the support of the Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) e-Universe (CNPq grant 465376/2014-2).

RAR, RAR and TSB acknowledge support from FAPERGS and CNPq.

REFERENCES

- Abolfathi, B. et al. ApJS, 2018, 235, 42
Antonucci, R., 1993, ARAA, 31, 473
Bower, R. G. et al. 2006, MNRAS, 370, 645
Barbosa, F. K. B., Storchi-Bergmann, T., McGregor, P., Vale, T. B., Riffel, R. A., 2014, MNRAS, 445, 2353
Bundy, K., et al., 2015, ApJ 798, 7
Bruzual G., Charlot S., 2003, MNRAS, 344, 1000
Cappellari, M., Emsellem, E., 2004, PASP, 116, 138
Cappellari, M. et al., 2007, MNRAS, 379, 418
Cappellari, M., 2017, MNRAS, 466, 798
Cheung, E., et al., 2016, Nature, 533, 504.
Di Matteo, T., Springel, V. & Hernquist, L. 2005, Nature, 433, 604
Drory, N., et al. 2015, AJ, 149, 77
Ferrarese, L. & Merritt, D. A., 2000, ApJL, 539, L9
Fischer, T. C., Crenshaw, D. M., Kraemer, S. B., Schmitt, H. R. 2013, ApJS, 209, 1
Gebhardt, K. et al. 2000, ApJL, 539, L13
Gonzalez R.C., Woods R.E., 2002, Digital Image Processing, 2nd edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
Hopkins, P. et al. 2005, ApJ, 630, 705
Krajinović, D., Cappellari, M., Emsellem, E., McDermid, R. M., de Zeeuw, P. T., 2005, 357, 1113
Krajinović, D., Cappellari, M., de Zeeuw, P. T., Copin, Y., 2006, MNRAS, 366, 787.
Krajinović, D. et al., 2011, MNRAS, 414, 2993
Law, D. R., et al., 2015, AJ, 150, 19
Law, D. R., et al., 2015, AJ, 152, 83
Lena, D. et al., 2015, ApJ, 806, 84
Mallmann, N. D. et al. 2018, MNRAS, submitted
Nemmen R., Bower, R., Babul, A. & Storchi-Bergmann, T. 2007, MNRAS, 377, 1652
Oh, K., Sarzi, M., Schawinski, K., Yi, S. K., 2011, ApJS, 195, 130
Osterbrock, D. E., & Ferland, G. J. 2006, Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei, 2nd ed., University Science Books, Sausalito, California
Penny, S. J. et al, 2018, MNRAS, submitted
Rembold, S. B. et al, 2017, MNRAS, 472, 4382
Riffel, R. A., Storchi-Bergmann, T., Riffel, R., 2014, ApJ, 780, 24
Sarzi, M., et al, 2006, MNRAS, 366, 1151
Scannapieco, E. et al. 2005, ApJ, 635, L13
Schmitt, H. R., Donley, J. L., Antonucci, R. R. J., Hutchings, J. B., Kinney, A. L., 2003, ApJS, 148, 327
Schnorr-Müller, A., Storchi-Bergmann, T., Nagar, N. M., Robinson, A., Lena, D., Riffel, R. A., Couto, G. S., 2014, MNRAS, 437, 1708
Springel, V., Di Matteo, T. & Hernquist, L. 2005, ApJ, 620, L79
Tremaine, S. et al. 2002, ApJ, 574, 740
Urry, C. M., Padovani, P., 1995, PASP, 107, 803
Veilleux S., et al., 2013, ApJ, 776, 27
Wake, D. A. et al., 2017, AJ, 154, 86
Woo, J., et al., 2017, ApJ, 839, 120
Wylezalek, D. et al, 2018, MNRAS, 474, 1499
Wylezalek, D. et al, 2017, MNRAS, 467, 2612
Wylezalek, D. et al, 2016, MNRAS, 461, 3724
Yan, R., et al., 2016a, AJ, 151, 8
Yan, R., et al., 2016b, AJ, 152, 197
Zakamska, N. L. et al, 2016, MNRAS, 459, 3144
Zakamska N. L., Greene J. E., 2014, MNRAS, 442, 784
Zubovas K., King A., 2012b, ApJ, 745, L34

10 *Ilha et al.*

**APPENDIX A: KINEMATIC MEASUREMENTS
OF THE AGN AND CONTROL SAMPLES**

This paper has been typeset from a $\text{\TeX}/\text{\LaTeX}$ file prepared by the author.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho usamos observações espectroscópicas do MaNGA *survey* para estudar o impacto *feedback* dos AGNs em uma amostra de 62 galáxias ativas. Para isso realizamos um mapeamento da cinemática estelar e do gás para uma amostra de AGNs e galáxias inativas. Então, analisamos o impacto do *feedback* em escala galáctica através das distribuições do deslocamento do ângulo de posição cinemático do gás em relação as estrelas na amostra de controles e galáxias ativas. Para estudar o impacto do AGN em uma escala menor na galáxia hospedeira, cerca de 2 kpc, usamos as dispersões de velocidades estelar e do gás. As principais conclusões deste trabalho são:

- Comparamos nossas medidas para [O III] λ 5007, H α e [N II] λ 6583 com as disponíveis no repositório do MaNGA DAP (*Data Analysis Pipeline*). Os fluxos que obtemos para essas linhas são similares aos disponibilizados no DAP. Já os campos de velocidades e dispersão de velocidades para o gás e as estrelas também são semelhantes, porém os do DAP são mais ruidosos. Dessa forma, conclui-se que nosso procedimento de medida é mais eficiente do que o do DAP.
- Obtemos o ângulo de posição cinemático Ψ_0 para o campo de velocidade estelar e para [O III] λ 5007, H α e [N II] λ 6583. Algumas galáxias apresentam uma diferença significativa entre o Ψ_0 do gás e das estrelas, ou seja, $\Delta PA > 30^\circ$. Porém, a maioria não apresenta diferença significativa entre a orientação da linha dos nodos estelar e do gás. Além disso, não existe diferença entre as distribuições de ΔPA para as amostras de controle e AGN. A fração de AGNs e controles com ΔPA significativa é de 21% e 19%, respectivamente. O que sugere que em uma larga escala o *feedback* do AGN não tem um impacto significativo sobre a galáxia hospedeira para as galáxias selecionadas na nossa amostra. Dessa forma a cinemática do gás em escala galáctica é dominada pelo movimento orbital no potencial gravitacional das galáxias e não por *outflows* devido ao AGN.
- Calculamos a dispersão de velocidades do gás σ menos a σ estelar dividido por σ estelar, definido como σ_{frac} , dentro de uma abertura de $2.5''$ para as galáxias ativas e inativas. Ao plotar os diagrama das duas distribuições de σ_{frac} , percebemos que os AGNs têm σ_{frac} maior do que os controles. O valor médio de σ_{frac} para AGNs e controles é $\langle \sigma_{frac} \rangle_{AGN} = 0.04$ e $\langle \sigma_{frac} \rangle_{CTR} = -0.23$, respectivamente. Além disso, 90% dos AGNs apresentam σ_{frac} maior que -0.22 e 75% deles têm valores maiores que -0.13 . Já para a amostra de controle, 90% das galáxias mostram $\sigma_{frac} < 0.12$ e 75% delas $\sigma_{frac} < -0.04$. Logo, σ_{frac} pode ser um indicativo da presença de AGN. Interpretamos essa diferença como devida a *outflows* do núcleo ativo.
- Encontramos uma correlação positiva entre a luminosidade da linha [O III] λ 5007 e σ_{frac} .

O teste de Spearman confirma essa correlação, resultando em um coeficiente de correlação de 0.54 e um p-value de 10^{-14} . Isso indica que o impacto dos *outflows* é maior a medida que a luminosidade aumenta. Logo, os AGNs da nossa amostra não parecem afetar a galáxia hospedeira em uma escala galáctica, mas tem um impacto importante em uma escala menor (1–2 kpc), e isso parece depender da luminosidade do AGN.

O mecanismo de *feedback* dos AGNs é um fator importante em simulações numéricas e cosmológicas, logo o estudo desse assunto é importante para entender e poder restringir os parâmetros que o regulam. Nossos resultados sugerem que a potência dos *outflows* (e possivelmente o impacto do *feedback*) depende da luminosidade do AGN, o que está de acordo com a existência de diferentes modos de *feedback*. Além disso, a luminosidade do AGN parece ser importante no impacto do *feedback do AGN* sobre a galáxia hospedeira, ou seja, AGNs de mais baixa luminosidade não são capazes de interferir na cinemática da galáxia hospedeira em uma grande escala.

Nossa amostra é formada por AGNs de baixa luminosidade e dessa forma o modo esperado para o *feedback* é o modo rádio, porém sabe-se que o modo rádio é mais eficiente em galáxias massivas. De maneira geral, nossos resultados indicam a presença de *outflows* na região central das galáxias ativas, entretanto, é provável que estes não produzam nenhum *feedback* (ou efeito) na galáxia hospedeira. A extensão natural deste trabalho é a ampliação da amostra a medida que novos objetos são observados, incluindo AGNs de mais alta luminosidade.

5.1 PERSPECTIVAS

As perspectivas deste trabalho incluem analisar uma amostra maior de galáxias ativas que estão sendo observadas pelo MaNGA, incluindo galáxias de maior luminosidade, usando a mesma metodologia descrita nesse trabalho. Dessa forma, poderemos verificar se a correlação entre a luminosidade e σ_{frac} se confirma, ou seja, se o impacto do AGN sobre a cinemática do gás da galáxia hospedeira depende da luminosidade do mesmo. Também pretendemos obter dados de espectroscopia de campo integral com telescópios de grande porte (telescópio Gemini) para assim mapear em detalhes a região central das galáxias e verificar qual é a relação entre a cinemática no kiloparsec central e a cinemática em grande escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONUCCI, R. Unified models for active galactic nuclei and quasars. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 31, n. 1, p. 473–521, 1993.

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**, v. 93, p. 5–19, fev. 1981.

BARBOSA, F. K. B. et al. Modelling the [FeII] 1.644 μ m outflow and comparison with H₂ and H⁺ kinematics in the inner 200 pc of NGC 1068. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 445, n. 3, p. 2353–2370, 2014.

Bower, R. G. et al. Breaking the hierarchy of galaxy formation. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 370, p. 645–655, ago. 2006.

BRUM, C. et al. Dusty spirals versus gas kinematics in the inner kiloparsec of four low-luminosity active galactic nuclei. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 469, n. 3, p. 3405–3423, 2017.

Bruzual, G.; Charlot, S. Stellar population synthesis at the resolution of 2003. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 344, p. 1000–1028, out. 2003.

Bundy, K. et al. Overview of the SDSS-IV MaNGA Survey: Mapping nearby Galaxies at Apache Point Observatory. **The Astrophysical Journal**, v. 798, p. 7, jan. 2015.

Cano-Díaz, M. et al. Observational evidence of quasar feedback quenching star formation at high redshift. **MNRAS**, v. 537, p. L8, jan. 2012.

Cappellari, M.; Emsellem, E. Parametric Recovery of Line-of-Sight Velocity Distributions from Absorption-Line Spectra of Galaxies via Penalized Likelihood. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 116, p. 138–147, fev. 2004.

Cheung, E.; Bundy, K.; SDSS-IV/MaNGA. Suppressing star formation in quiescent galaxies with supermassive black hole winds. In: **American Astronomical Society Meeting Abstracts #227**. [S.l.: s.n.], 2016. (American Astronomical Society Meeting Abstracts, v. 227), p. 312.04.

Combes, F. Models of AGN feedback. In: Ziegler, B. L. et al. (Ed.). **Galaxies in 3D across the Universe**. [S.l.: s.n.], 2015. (IAU Symposium, v. 309), p. 182–189.

Cresci, G.; Maiolino, R. Observing positive and negative AGN feedback. **Nature Astronomy**, v. 2, p. 179–180, mar. 2018.

Di Matteo, T.; Springel, V.; Hernquist, L. Energy input from quasars regulates the growth and activity of black holes and their host galaxies. **Nature**, v. 433, p. 604–607, fev. 2005.

Drory, N. et al. The MaNGA Integral Field Unit Fiber Feed System for the Sloan 2.5 m Telescope. **The Astronomical Journal**, v. 149, p. 77, fev. 2015.

FERNANDES, R. C. et al. Alternative diagnostic diagrams and the ‘forgotten’ population of weak line galaxies in the SDSS. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 403, n. 2, p. 1036–1053, 2010.

Ferrarese, L.; Merritt, D. A Fundamental Relation between Supermassive Black Holes and Their Host Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 539, p. L9–L12, ago. 2000.

Fischer, T. C. et al. Determining Inclinations of Active Galactic Nuclei via their Narrow-line Region Kinematics. I. Observational Results. **The Astrophysical Journal**, v. 209, p. 1, nov. 2013.

Gebhardt, K. et al. A Relationship between Nuclear Black Hole Mass and Galaxy Velocity Dispersion. **The Astrophysical Journal**, v. 539, p. L13–L16, ago. 2000.

Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. **Digital image processing**. [S.l.: s.n.], 2002.

Hopkins, P. F. et al. Black Holes in Galaxy Mergers: Evolution of Quasars. **The Astrophysical Journal**, v. 630, p. 705–715, set. 2005.

Kauffmann, G. et al. The host galaxies of active galactic nuclei. , v. 346, p. 1055–1077, dez. 2003.

Kewley, L. J. et al. Theoretical Modeling of Starburst Galaxies. , v. 556, p. 121–140, jul. 2001.

Kormendy, J.; Bender, R. The $L_{\nu} \text{prop} \sigma^8$ Correlation for Elliptical Galaxies with Cores: Relation with Black Hole Mass. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 769, p. L5, maio 2013.

Krajnović, D. et al. Kinemetry: a generalization of photometry to the higher moments of the line-of-sight velocity distribution. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 366, p. 787–802, mar. 2006.

Lena, D. et al. The Complex Gas Kinematics in the Nucleus of the Seyfert 2 Galaxy NGC 1386: Rotation, Outflows, and Inflows. **The Astrophysical Journal**, v. 806, p. 84, jun. 2015.

Maiolino, R. et al. Star formation inside a galactic outflow. , v. 544, p. 202–206, mar. 2017.

Osterbrock, D. E.; Ferland, G. J. **Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei**. [S.l.: s.n.], 2006.

Peterson, B. M. **An Introduction to Active Galactic Nuclei**. [S.l.: s.n.], 1997.

Rembold, S. B. et al. The first 62 AGNs observed with SDSS-IV MaNGA - I. Their characterization and definition of a control sample. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 472, p. 4382–4403, dez. 2017.

RIFFEL, R. Precessing winds from supermassive black holes. Em preparação.

Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T.; Riffel, R. An Outflow Perpendicular to the Radio Jet in the Seyfert Nucleus of NGC 5929. **The Astrophysical Journal**, v. 780, p. L24, jan. 2014.

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**, v. 366, p. 1151–1200, mar. 2006.

Scannapieco, E.; Silk, J.; Bouwens, R. AGN Feedback Causes Downsizing. **The Astrophysical Journal**, v. 635, p. L13–L16, dez. 2005.

Schmitt, H. R. et al. A Hubble Space Telescope Survey of Extended $[\text{O III}] \lambda 5007 \text{ \AA}$ Emission in a Far-Infrared-Selected Sample of Seyfert Galaxies: Results. , v. 597, p. 768–779, nov. 2003.

Schnorr-Müller, A. et al. Feeding and feedback in the inner kiloparsec of the active galaxy NGC 2110. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 437, p. 1708–1724, jan. 2014.

Springel, V.; Di Matteo, T.; Hernquist, L. Black Holes in Galaxy Mergers: The Formation of Red Elliptical Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 620, p. L79–L82, fev. 2005.

Thacker, R. J.; Scannapieco, E.; Couchman, H. M. P. Quasars: What Turns Them Off? , v. 653, p. 86–100, dez. 2006.

THOMAS, D. et al. Stellar velocity dispersions and emission line properties of sdss-iii/boss galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 431, n. 2, p. 1383–1397, 2013.

Tremaine, S. et al. The Slope of the Black Hole Mass versus Velocity Dispersion Correlation. **The Astrophysical Journal**, v. 574, p. 740–753, ago. 2002.

Urry, C. M.; Padovani, P. Unified Schemes for Radio-Loud Active Galactic Nuclei. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 107, p. 803, set. 1995.

WOO, J.-H.; SON, D.; BAE, H.-J. Delayed or no feedback? gas outflows in type 2 agns. iii. **The Astrophysical Journal**, v. 839, n. 2, p. 120, 2017.

Wylezalek, D.; Zakamska, N. L. Evidence of suppression of star formation by quasar-driven winds in gas-rich host galaxies at $z \sim 1$? **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 461, p. 3724–3739, out. 2016.

Zakamska, N. L. et al. Discovery of extreme [O III] $\lambda 5007 \text{ \AA}$ outflows in high-redshift red quasars. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 459, p. 3144–3160, jul. 2016.