

Universidade do Vale do Paraíba
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento - IP&D
Programa de Pós Graduação em Física e Astronomia

Lucas da Silva Brito

Variações de densidade eletrônica em galáxias em interação com o SDSS - IV MaNGA

São José dos Campos, SP

2021

Lucas da Silva Brito

**Variações de densidade eletrônica em galáxias em
interação com o SDSS - IV MaNGA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia, como parte do processo de avaliação para a obtenção do título de Mestre em Física e Astronomia.

Orientadora: Dra. Ângela Cristina Krabbe

São José dos Campos, SP

2021

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA

Ficha catalográfica

Brito, Lucas da Silva
Variações de densidade eletrônica em galáxias em interação
com o SDSS - IV MaNGA / Lucas da Silva Brito; orientadora, Profa.
Dra. Ângela Cristina Krabbe. - São José dos Campos, SP, 2021.
1 CD-ROM, 57 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade do Vale do
Paraíba, São José dos Campos. Programa de Pós-Graduação em Física
e Astronomia.

Inclui referências

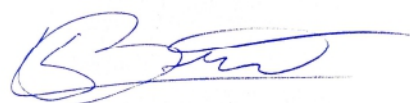
1. Física e Astronomia. 2. Densidade Eletrônica. 3. Galáxias
em Interação. I. Krabbe, Profa. Dra. Ângela Cristina, orient. II.
Universidade do Vale do Paraíba. Programa de Pós-Graduação em
Física e Astronomia. III. Título.

Eu, Lucas da Silva Brito, autor(a) da obra acima referenciada:

Autorizo a divulgação total ou parcial da obra impressa, digital ou fixada em
outro tipo de mídia, bem como, a sua reprodução total ou parcial, devendo o
usuário da reprodução atribuir os créditos ao autor da obra, citando a fonte.

Declaro, para todos os fins e efeitos de direito, que o Trabalho foi elaborado
respeitando os princípios da moral e da ética e não violou qualquer direito de
propriedade intelectual sob pena de responder civil, criminal, ética e
profissionalmente por meus atos.

São José dos Campos, 16 de Março de 2022.



Autor(a) da Obra

Data da defesa: 03 / Agosto / 2021

LUCAS DA SILVA BRITO

**“VARIÇÃO DE DENSIDADE ELETRÔNICA EM GALÁXIAS EM INTERAÇÃO COM SDSS – IV
MaNGA”.**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, do Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia, do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, pela seguinte banca examinadora:

PROF. DR. IRAPUAN RODRIGUES DE OLIVEIRA FILHO _____

PROF.ª DR.ª ANGELA CRISTINA KRABBE _____

PROF.ª DR.ª CLAUDIA LÚCIA MENDES DE OLIVEIRA - USP _____

Prof.ª Dr.ª Lúcia vieira

Diretora do IP&D – Univap

São José dos Campos, 03 de agosto 2021.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos

- À minha família e amigos por todo apoio que me tem dado, entendendo minha ausência em certos momentos e sempre me incentivando a continuar;
- À minha orientadora Ângela Krabbe, por ter me aceitado, sempre me ajudado e por toda a paciência e tempo que pode me dedicar;
- E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro.

RESUMO

Determinações de densidades eletrônicas (N_e) em galáxias em interação são extremamente importantes, principalmente para determinações precisas de abundâncias químicas. Neste trabalho apresentamos um estudo da variação espacial de densidade eletrônica no disco galáctico para uma amostra de 58 galáxias em interação selecionadas do survey MANGA (*Mapping Nearby Galaxies At Apache Observatory*). A N_e foi determinada da razão de linhas $[\text{SII}]\lambda 6716/\lambda 6731$, utilizando dados espectroscópicos de campo integral do MANGA, que apresentam uma resolução espectral de $R \approx 2000$. Variações espaciais significativas de densidade eletrônica foram detectadas ao longo do disco galáctico em todas as galáxias estudadas. Altas densidades eletrônicas foram detectadas principalmente nas regiões externas dos discos galácticos, que pode ser devido a interação gravitacional com a galáxia companheira. Os valores das densidades eletrônicas médias obtidos para as galáxias estão num intervalo de $145 - 2400 \text{ cm}^{-3}$. Os valores médios da N_e foram relacionados com a diferença de velocidade radial do par das galáxias, com a separação projetada dos pares, com a massa e a luminosidade dos objetos, mas nenhuma correlação entre esses parâmetros foi encontrada. Utilizamos o diagrama BPT baseado nas razões de linha $[\text{OI}]/\text{H}\alpha$ vs $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$ para associar as regiões de alta densidade com gás excitado por choque, e verificamos que em vários objetos as altas N_e estão associadas às regiões de gás excitado por choque, evidenciando que as altas densidades eletrônicas se devem a excitação de gás por choque.

Palavras-chave: MaNGA; Densidade Eletrônica; Galáxias em Interação.

ABSTRACT

Determinations of electron densities (N_e) in interacting galaxies are extremely important, especially for accurate determination of chemical abundances. In this paper we present a study of the spatial variation of electron density across the the galactic disk of a sample of 58 interacting galaxies selected from the MANGA survey (*Mapping Nearby Galaxies At Apache Observatory*). A N_e was determined from the ratio of lines [S II] λ 6716 and [S II] λ 6731, using full-field spectroscopic data from MaNGA, which have a spectral resolution of $R \approx 2000$. Significant spatial variations of electron density were detected along the galactic disk in all galaxies. High electron densities were detected mainly in the outer regions of the galactic disks, which may be due to gravitational interaction with the companion galaxy. The values of the mean electron densities obtained for the galaxies are in a range of 145 - 2 400 cm^3 . The average values of N_e were related to the radial velocity difference of the pair of galaxies, the projected separation of the pairs, the mass and luminosity of the objects, but no correlation was found between these parameters. We used the BPT diagram based on the line ratios [OI]/ $H\alpha$ vs [OIII]/ $H\beta$ to associate the high density regions with gas excited by shock, and we verified that in several objects the high ones are associated with the regions of gas excited by shock, showing that the high electron densities are due to gas excitation by shock.

Keywords: MaNGA; electronic density; interaction galaxies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Par de galáxias em interação NGC 4038 e NGC 4039, conhecidas como Antennae, na qual podemos observar as caudas de maré.	14
Figura 2 – Galáxia M51, também conhecida como Galáxia do Rodamoinho, na qual observamos pontes de gás e estrelas.	15
Figura 3 – Galáxia Cartwheel, também conhecida como galáxia Roda de Carro, onde podemos visualizar os anéis de estrelas e gás.	15
Figura 4 – Painel superior esquerdo: Galáxia AM 0410-325; Painel superior direito: Galáxia AM 0327-222; Painel inferior esquerdo: Galáxia AM 0012603; Painel inferior direito: Galáxia AM 1255-455.	16
Figura 5 – Taxa de formação estelar em função da separação projetada em kpc dos pares. Os pontos vermelhos representam as galáxias em interação e em preto galáxias do grupo de controle, as isoladas.	18
Figura 6 – Telescópio Apache, no novo México, onde está acoplado o espectrógrafo BOSS que é utilizado no projeto MaNGA	22
Figura 7 – Painel esquerdo: face de um IFU de 127 fibras. Painel direito: Sobreposição da IFU em uma galáxia espiral, representando o campo de visão da IFU.	22
Figura 8 – Galáxia MaNGA 8257-3703, uma das galáxias em que o campo do IFU (em rosa) não consegue obter dados das partes externas da galáxia.. . . .	23
Figura 9 – Painel superior esquerdo: Imagem do campo de visão do IFU sobreposto a imagem da galáxia MaNGA 8078-3703 nas bandas g , r e i . Painel superior direito: espectro do spaxel central da mesma galáxia. Painel inferior: espectro correspondente ao spaxel central na região das linhas [SII] $\lambda 6717$ e $\lambda 6731$	25
Figura 10 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8155-12703	26
Figura 11 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8332-12701	27
Figura 12 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8601-12703	28
Figura 13 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8715-12704	29
Figura 14 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 9182-12705	30
Figura 15 – Diagrama dos níveis [SII].	32
Figura 16 – [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$, em função do $\log N_e$ para a razão [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$	33
Figura 17 – Galáxia MaNGA 8078-3703 - Painel superior esquerdo: mapa da razão [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$. Painel superior direito: mapa das N_e . Painel inferior: perfil radial da densidade eletrônica.	35

Figura 18	–Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8155-12703	36
Figura 19	–Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8332-12701.	37
Figura 20	–Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8601-12703	38
Figura 21	–Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8715-12704	39
Figura 22	–Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 9182-12705	40
Figura 23	–Histograma da N_e média.	42
Figura 24	–MaNGA 8078-3703 - Painel esquerdo: diagrama BPT baseado nas razões de linha $\log[\text{OI}]/\text{H}\alpha$ vs $\log[\text{O III}]/\text{H}\beta$. A curva sólida representa o limite de separação das regiões de formação estelar (azul) e regiões de excitação de gás por choque (em vermelho). Painel central: distribuição espacial das regiões observadas no painel esquerdo, seguindo o mesmo esquema de cores. Painel direito: distribuição espacial da N_e	43
Figura 25	–Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8155-12703.	44
Figura 26	–Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8332-12701.	44
Figura 27	–Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8601-12703.	44
Figura 28	–Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8715-12704.	45
Figura 29	–Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 9182-12705.	45
Figura 30	–Painel superior: N_e em função da r_p . Painel inferior: mediana da N_e em função da r_p	47
Figura 31	–Painel superior: N_e em função da Δv . Painel inferior: mediana da N_e em função da Δv	48
Figura 32	–Painel superior: N_e em função da M/M_\odot . Painel inferior: mediana da N_e em função da M/M_\odot	49
Figura 33	–Painel superior: média da N_e em função da L/L_\odot . Painel inferior: mediana da N_e em função da L/L_\odot	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parte da amostra de Pares de Galáxias	24
Tabela 2 – Estatísticas da densidade eletrônica.	40
Tabela 3 – Coluna 1: número da placa do MaNGA. Coluna 2: ID do IFU do MaNGA. Coluna 3: Ascensão reta em graus. Coluna 4: declinação em graus. Coluna 5: Δv km/s. Coluna 6: r_p kpc. Coluna 7: z . Coluna 8: distância ao objeto em Mpc. Coluna 9: Massa da galáxia. Coluna 10: Luminosidade bolométrica.	59

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

MaNGA	<i>Mapping Nearby Galaxies at Apache Observatory</i>
IFU	<i>Integral Field Unit</i>
N_e	<i>Densidade Eletrônica</i>
SFR	<i>Star Formation Rate</i>
SDSS	<i>Sloan Digital Sky Survey</i>
BOSS	<i>Baryon Oscillation Spectroscopic Survey</i>

Sumário

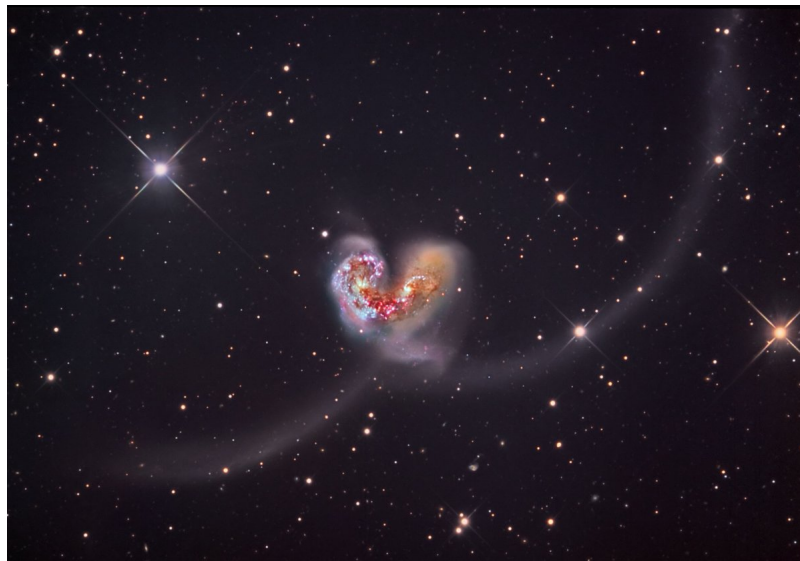
1	Introdução	14
1.1	Processos Físicos em Nebulosas Ionizadas	16
1.2	Efeitos das Interações nas galáxias	17
1.3	Motivação	20
1.4	Objetivos	20
2	Dados	21
2.1	MaNGA	21
2.2	Seleção da Amostra	22
3	Metodologia	31
3.1	Determinação das intensidades das linhas	31
3.2	Determinação da Densidade Eletrônica	31
4	Resultados e discussões	34
4.1	Variações espaciais da densidade eletrônica	34
4.2	Investigando os valores altos da N_e	43
4.3	Relação da N_e com a separação projetada, diferença da velocidade radial, luminosidade e massa da galáxia	45
4.3.1	Análise das relações	46
5	Conclusões e perspectivas	51
	Referências	52
A	Amostra de Objetos	58

1 Introdução

Galáxias são objetos formados essencialmente por estrelas, poeira e gás que se mantêm unidos devido a sua atração gravitacional. As galáxias podem se associar de diferentes maneiras, podendo ser encontradas em pares, com uma galáxia orbitando outra, em grupos, e em aglomerados.

As interações e fusões estão entre os principais agentes no processo de evolução das galáxias. As fusões alteram a massa das galáxias, transformando aquelas menos massivas em uma única galáxia mais massiva. Fusões também desencadeiam alguns fenômenos físicos e morfológicos, tais como: longas caudas de maré, como as detectadas nas galáxias Antennae ([MIRABEL; LUTZ; MAZA, 1991](#)) e ilustradas na Figura 1, pontes de estrelas e gás, como as observadas em M 51 ([LEE et al., 2012](#)) (ver Figura 2) e anéis, como os observados na galáxia Cartwheel ([FOSBURY; HAWARDEN, 1977](#)) (ver Figura 3).

Figura 1 – Par de galáxias em interação NGC 4038 e NGC 4039, conhecidas como Antennae, na qual podemos observar as caudas de maré.



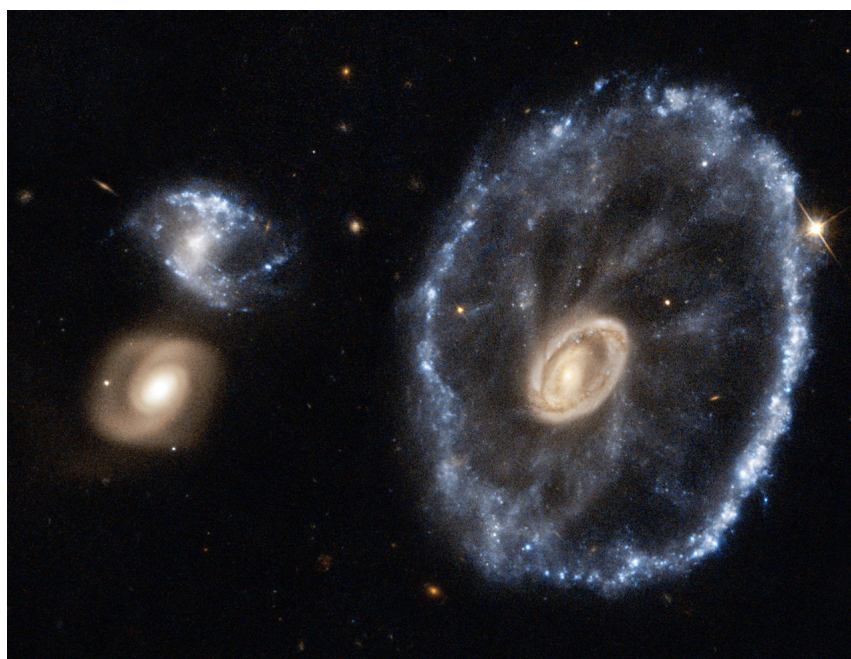
Fonte: Telescópio Espacial Hubble

Figura 2 – Galáxia M51, também conhecida como Galáxia do Rodamoinho, na qual observamos pontes de gás e estrelas.



Fonte: Telescópio Espacial Hubble.

Figura 3 – Galáxia Cartwheel, também conhecida como galáxia Roda de Carro, onde podemos visualizar os anéis de estrelas e gás.

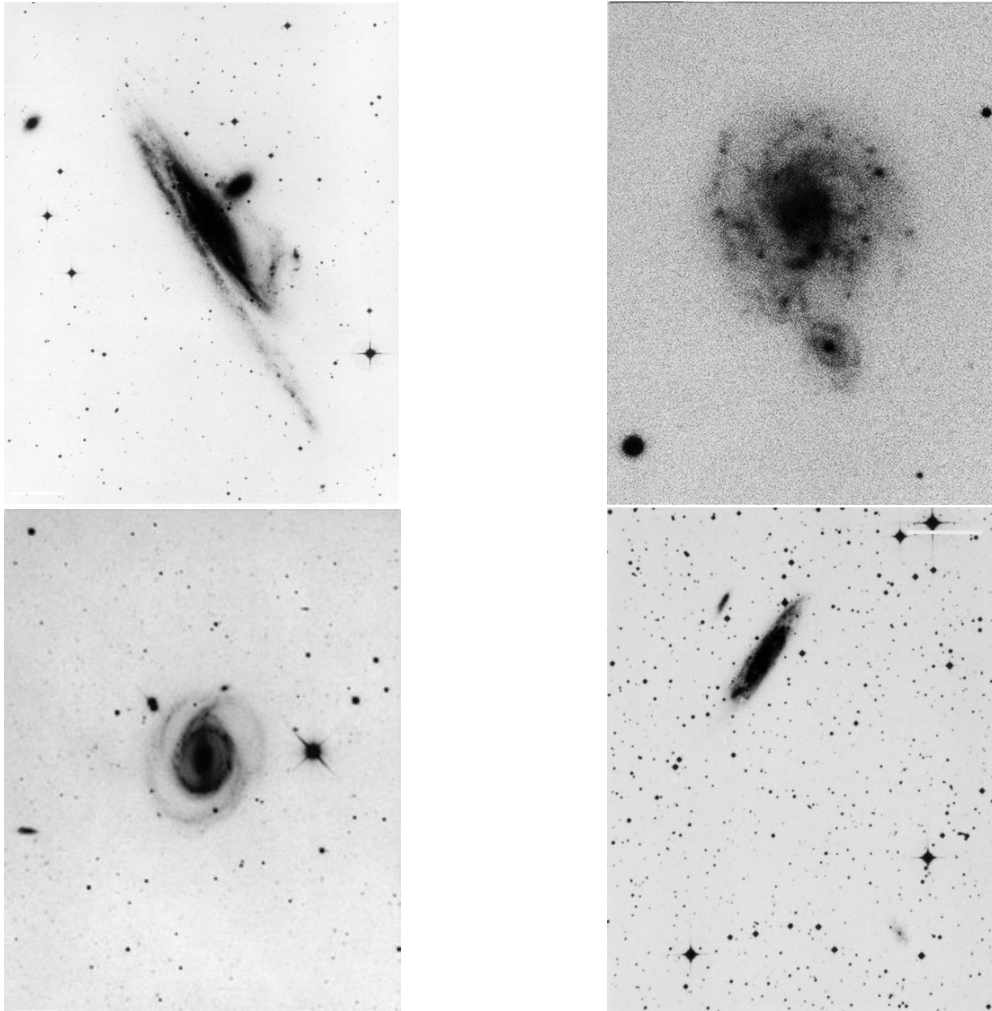


Fonte: Telescópio Espacial Hubble.

Galáxias em interação podem ser classificadas de acordo com a morfologia (elementarmente refere-se ao formato), assim como também de acordo com o tamanho das

galáxias. Existem catálogos que tratam dessa classificação como o Arp & Madore (AM). Alguns exemplos desses catálogos são mostrados nas figuras 4.

Figura 4 – Painel superior esquerdo: Galáxia AM0410-325; Painel superior direito: Galáxia AM0327-222; Painel inferior esquerdo: Galáxia AM0012603; Painel inferior direito: Galáxia AM1255-455.



Fonte: Catálogo Arp & Madore

1.1 Processos Físicos em Nebulosas Ionizadas

Galáxias são estruturas muito complexas, basicamente formadas por estrelas, regiões HII, nebulosas ionizadas, matéria escura, poeira e gás. Os principais processos físicos que ocorrem nas nebulosas são a fotoionização, a recombinação e a excitação colisional.

A fotoionização é a absorção de um fóton por um átomo, resultando na ejeção de um elétron com energia cinética igual à diferença entre o fóton absorvido e o potencial de ionização do átomo, isto é, a energia mínima necessária para que o elétron se desligue do átomo. No caso do Hidrogênio, a energia que um fóton necessita ter para ionização é igual ou maior que 13.6eV. Já para o Hélio, a energia é de 24.6eV.

Na recombinação ocorre o processo contrário à fotoionização. Aqui os elétrons livres são capturados pelos núcleos dos átomos ionizados. Após a captura desse elétron, na maior parte das vezes, o átomo não se encontra no nível fundamental, então sofre sucessivos decaimentos emitindo fótons de frequências específicas. As linhas assim produzidas são chamadas de linhas de recombinação. As linhas de emissão do H e do He são linhas de recombinação.

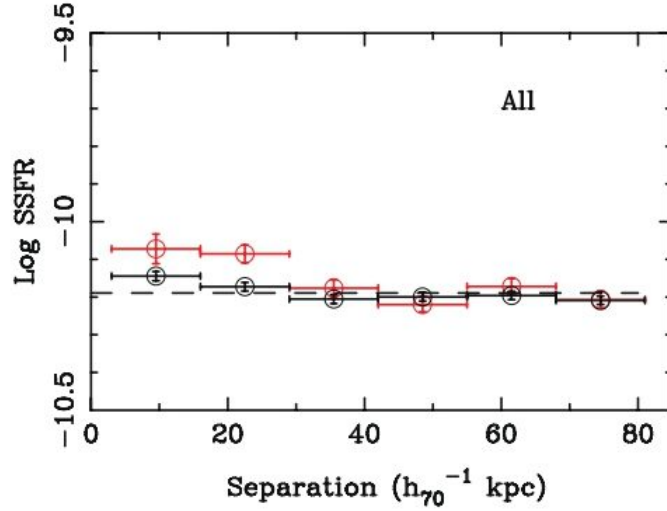
Um átomo ou ion que possua níveis de excitação próximos ao estado fundamental pode ser excitado pela colisão com elétrons livres pois a energia cinética desses elétrons é suficiente apenas para excitar os elétrons, levando estes para níveis mais altos. Conhecido como excitação colisional esse processo é responsável pelas linhas excitadas colisionalmente, também conhecidas como linhas proibidas, por serem originadas por transições que tem baixa probabilidade de acontecer. A desexcitação é radiativa, com a emissão de um fóton. Exemplos de linhas emitidas nestes processos são as do [O III], [N II] e as [S II], que serão utilizadas nesse trabalho. As linhas proibidas podem ser utilizadas para determinar a densidade eletrônica das nebulosas ionizadas,

1.2 Efeitos das Interações nas galáxias

As interações entre galáxias produzem diferentes efeitos na distorção da morfologia, na taxa de formação estelar, e nas propriedades físicas do gás ionizado das galáxias. Entre esses efeitos, podemos citar o aumento de emissão na região do ultravioleta, que compreende a região espectral de $1000 \leq \lambda(\text{\AA}) \leq 3000$ (TINSLEY; LARSON, 1978), aumento na intensidade de linhas de emissão óptica (KENNICUTT R. C.; KEEL, 1984), no infravermelho próximo (WRIGHT et al., 1985) e em rádio (HUMMEL, 1981), quando comparadas às emissões de galáxias isoladas. Tais características evidenciam que interações induzem uma alta taxa de formação estelar (doravante SFR) ao longo dos discos das galáxias (KENNICUTT ROBERT C. et al., 1987; DONZELLI; PASTORIZA, 1997). Esse aumento na SFR é impulsionado por reservatórios de gás disponíveis para alimentar a formação de estrelas, provavelmente isso ocorre devido a uma transição do gás molecular para sua fase mais densa, impulsionada pela interação gravitacional das galáxias (VIOLINO et al., 2018). As galáxias em interação apresentam um aumento na SFR em comparação com galáxias isoladas (BUSTAMANTE et al., 2020).

A Figura 5 mostra a taxa de SFR em função da separação projetada de galáxias em par (Ellison et al. (2010)) em comparação com galáxias isoladas. É possível verificar que quanto menor a separação projetada entre as galáxias do par, maior será a taxa de formação estelar.

Figura 5 – Taxa de formação estelar em função da separação projetada em kpc dos pares. Os pontos vermelhos representam as galáxias em interação e em preto galáxias do grupo de controle, as isoladas.



(ELLISON et al., 2010)

Outra propriedade física que também é modificada nas galáxias em interação, devido às colisões, é a abundância química. Krabbe et al. (2008) em um estudo sobre o par de galáxia AM 2306-721, verificaram os gradientes da abundância de oxigênio com o hidrogênio da fase de gás são mais achatados do que os encontrados em galáxias isoladas. Posteriormente, Kewley et al. (2010) e Krabbe et al. (2014), apresentaram uma investigação mais sistemática sobre gradientes de metalicidade em duas amostras distintas de galáxias em pares próximos, confirmando um achatamento no perfil radial da metalicidade nesses objetos. Esse achatamento se deve à redistribuição do gás ao longo do disco galáctico devido ao fluxo de gás mais pobre em metais das regiões externas para as internas da galáxia. Esses movimentos de gás devido à interação dos objetos, como já reportado, produzem altas taxas de formação estelar e movimentos de gás das regiões externas para o centro da galáxia (VEILLEUX; CECIL; BLAND-HAWTHORN, 2005), produzindo excitação por choque em regiões de formação estelar, como encontrado em estudos de galáxias luminosas no infravermelho (SOTO; MARTIN, 2012; RICH et al., 2012; RICH; KEWLEY; DOPITA, 2011).

A maioria dos estudos sobre determinação de abundância de oxigênio no gás em galáxias, inclusive das que estão em interação (ROSA et al., 2014; SCUDDER et al., 2012; KRABBE et al., 2011; KEWLEY et al., 2010; KRABBE et al., 2008), são baseados em métodos indiretos, também conhecidos como método de linhas fortes, cujos valores das densidades eletrônicas N_e são assumidos e considerados constantes. Entretanto, se os

valores observados das densidades eletrônicas diferem consideravelmente dos assumidos, as estimativas de abundância de oxigênio poderão ser um tanto incertas. De fato, (OEY; KENNICUTT R. C., 1993) mostram que variações sistemáticas nas densidades eletrônicas podem gerar incertezas significativas nas determinações de abundância obtidas utilizando os métodos de linhas fortes. Eles verificaram que as densidades eletrônicas que variam de $10 - 200 \text{ cm}^{-3}$, que são os valores típicos encontrados em regiões HII (COPETTI et al., 2000; CASTANEDA; VILCHEZ; COPETTI, 1992; KENNICUTT R. C., 1984; O'DELL; CASTANEDA, 1984), podem produzir variações de até 0.5 dex nas estimativas de abundância química. E estas variações podem ser ainda maiores se derivadas em regiões de formação estelar, podendo estar entre $300 - 1800 \text{ cm}^{-3}$ (NEWMAN et al., 2012) e também, em nebulosas planetárias com $N_e > 10000 \text{ cm}^{-3}$ (KRABBE; COPETTI, 2005). Por esses motivos, determinações precisas da densidade eletrônica de regiões HII são extremamente importantes no estudo de galáxias e regiões HII, principalmente, para a determinação da abundância química desses objetos.

Krabbe et al. (2014) realizaram estudos em uma amostra de sete galáxias em interação. Utilizando observação de fenda longa e a razão de linhas do [SII] $\lambda 6716$ e $\lambda 6731$, os autores verificaram que na amostra de galáxias em interação, a N_e estava entre $24 - 532 \text{ cm}^{-3}$, valores bem mais altos que a N_e encontrada na amostra de galáxias isoladas, que estavam entre $40 - 137 \text{ cm}^{-3}$. Uma hipótese para explicar esses valores mais altos de N_e em galáxias em interação, seria a presença de gás-excitado por choque. No entanto, nenhuma correlação foi encontrada por estes autores entre a presença de choque e a densidades eletrônica. De fato, simulações hidrodinâmicas sugerem que durante o pico da atividade de formação estelar, gás ionizado é direcionado para altas densidades, de até 10^4 cm^{-3} (HOPKINS et al., 2013). Recentemente, (PUECH et al., 2019) estudaram a evolução temporal da densidade eletrônica de 33 galáxias com redshift $z \sim 0.6$. Utilizando as linhas do [OII] $\lambda 3726/\lambda 3729$ e temperatura eletrônica de 10000 K , verificaram que, nas regiões mais densas, dentro de um passo de tempo de 280 milhões de anos, a densidade pode aumentar em até 1000 cm^{-3} , traçando choques no gás induzido pelas interações.

Apesar dos recentes esforços para investigar as propriedades nas galáxias em interação, estudos de densidade eletrônica em regiões de formação estelar nestas galáxias têm sido pouco explorados. Portanto, neste trabalho realizaremos um estudo sistemático sobre as variações de densidades eletrônicas em uma amostra robusta de galáxias em interação. Para isso, serão utilizados dados do MaNGA, do inglês *Mapping Nearby Galaxies at the Apache Point Observatory* (BUNDY et al., 2015), que oferecem ótimas oportunidades para esse tipo estudo, devido a quantidade de informações que pode ser obtida para cada objeto.

1.3 Motivação

Estudos sobre a determinação de abundância de oxigênio no gás ionizado de galáxias são obtidos na maioria dos casos a partir de métodos indiretos, que em geral, assumem valores constantes para a densidade eletrônica. Contudo, se os valores de densidades eletrônicas assumidos estiverem muito diferentes dos valores observados, incertezas serão produzidas nas estimativas de abundância do oxigênio. Há, ainda, poucos estudos sobre a determinação da densidade eletrônica em galáxias, especialmente nas que estão em interação. Por isso, estudos sistemáticos sobre variações de densidade eletrônica em galáxias em interação são de suma importância.

1.4 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo sistemático sobre as variações espaciais de densidade eletrônica em uma amostra de galáxias em interação com dados de Unidades de Campo Integral (IFU, do inglês *Integral Field Unity*) do MaNGA. Os objetivos específicos são listados a seguir.

- Verificar o comportamento da densidade eletrônica em função da distância ao centro das galáxias.
- Determinar o comportamento da densidade eletrônica em função da separação projetada das galáxias e da diferença de velocidades.
- Verificar se a densidade eletrônica possui relação com a massa e a luminosidade das galáxias.
- Verificar se existe alguma relação entre os valores altos de densidade eletrônica e a presença de choque.

2 Dados

Neste capítulo é apresentada uma descrição sobre os dados utilizados. Na seção 2.1 os dados espectroscópicos do MaNGA são descritos, e na seção 2.2 os critérios utilizados para a seleção dos objetos desse estudo e a amostra de objetos são apresentados.

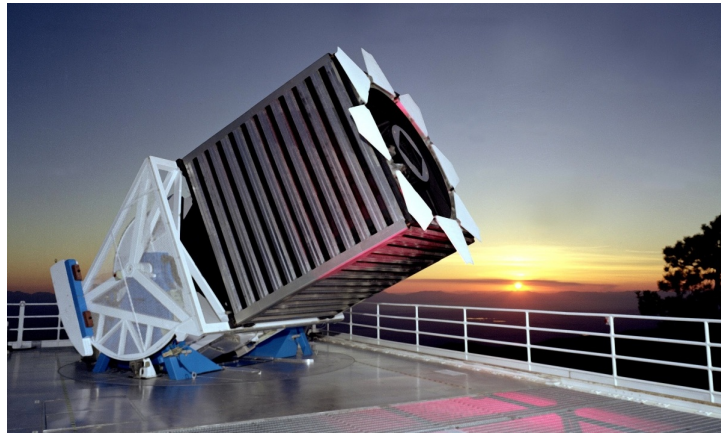
2.1 MaNGA

Para a realização desse trabalho utilizaremos dados espectroscópicos de IFU do MaNGA. O MaNGA faz parte da quarta versão do projeto do SDSS-IV (*Sloan Digital Sky Survey*, Blanton et al., 2017) que observou e catalogou 10 000 galáxias próximas ($0.01 < z < 0.15$). A partir desses dados pode-se mapear as propriedades físicas do gás ionizado e do conteúdo estelar nestes objetos.

Os dados do MaNGA consistem de informações obtidas com os espectrógrafos BOSS (do inglês *Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*), acoplados ao telescópio de 2,5 m, localizado no Observatório Apache Point, no Novo Mexico, Estados Unidos. O BOSS é formado por um conjunto de 17 Unidades de Campo Integral (do inglês *Integral Field Unit*, IFU). Cada IFU é formado por um conjunto de fibras ópticas, sendo as fibras dentro de cada IFU são distribuídas em um formato hexagonal e variam em tamanho de 12 segundos de arco (IFU com 19 fibras) a 32 segundos de arco (com 127 fibras). Os espectros estão num intervalo de comprimento de onda de 3 600 e 10 300 Å, com uma resolução espectral de $R \sim 1\,400$ a $\approx 4\,000$ Å e $R \sim 2\,600$ a $\approx 9\,000$ Å. O tamanho angular de cada spaxel é de 0.5 segundos de arco. Para maiores detalhes sobre as estratégias de observações e redução de dados veja Law et al. (2016) e Law, Cherinka e Team (2016), respectivamente.

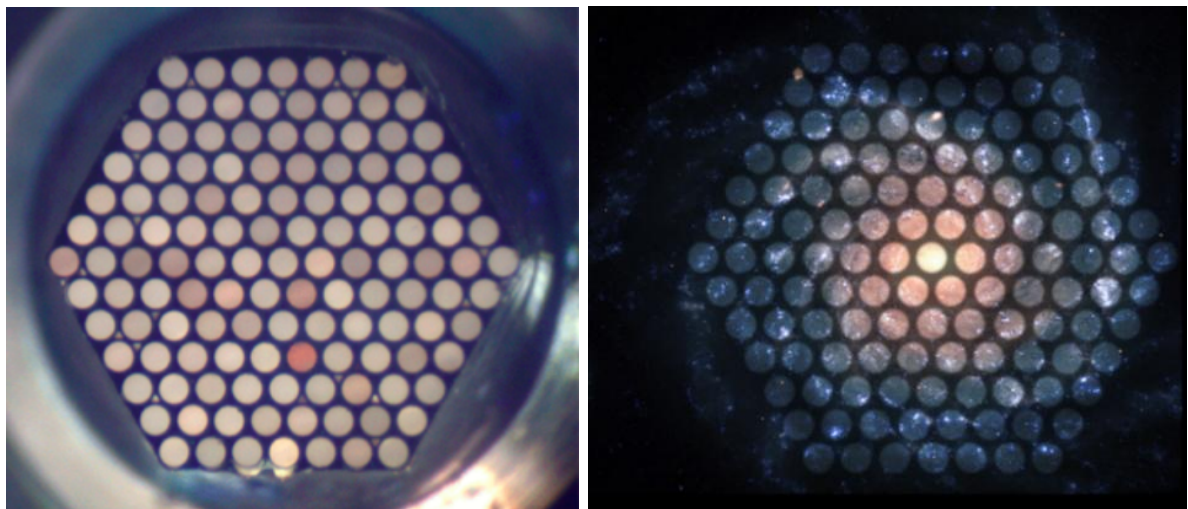
A Figura 6 mostra a imagem do telescópio de 2,5 metros do observatório Apache que é utilizado no projeto MaNGA. Podemos observar a imagem da face de um IFU de 127 fibras e a imagem de uma galáxia sobreposta a uma das faces do IFU na Figura 7.

Figura 6 – Telescópio Apache, no novo México, onde está acoplado o espectrógrafo BOSS que é utilizado no projeto MaNGA



Fonte: ([APACHE, 2020](#)). Acesso em: 02 de setembro de 2020.

Figura 7 – Painel esquerdo: face de um IFU de 127 fibras. Painel direito: Sobreposição da IFU em uma galáxia espiral, representando o campo de visão da IFU.



Fonte painel esquerdo: ([SDSS, 2020](#)). Fonte painel direito ([SDSS, 2020](#)). Acesso em: 03 de setembro de 2020.

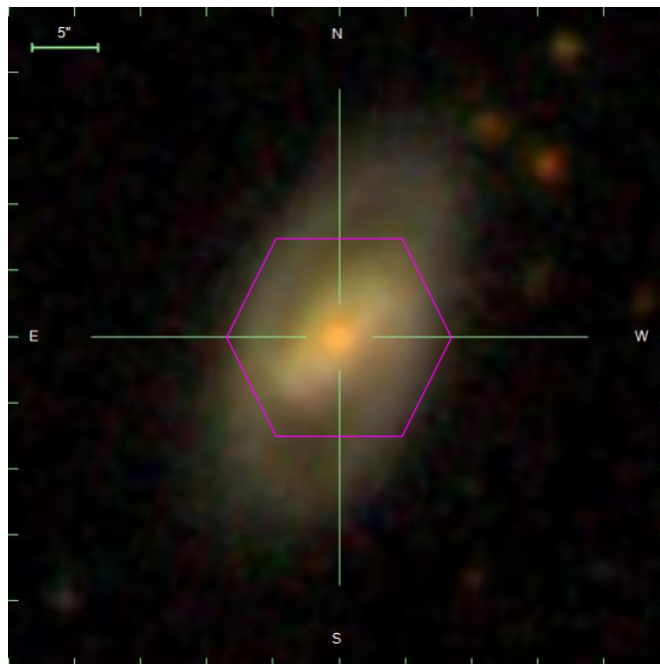
2.2 Seleção da Amostra

A amostra de galáxias foi selecionada a partir do catálogo GEMA-VAC (do inglês, GEMA-VAC: Galaxy Environment for MaNGA Value Added Catalog), disponível na página do SDSS ([SDSS, 2019](#)). Esse catálogo contém várias informações acerca do ambiente para uma amostra de galáxias em interação do MaNGA ([ARGUDO-FERNÁNDEZ et al., 2015](#); [ETHERINGTON](#); [THOMAS, 2015](#); [WANG et al., 2016](#)). A partir desse catálogo, definimos a nossa amostra de galáxias pertencentes a pares físicos. Adotando a diferença de velocidade radial entre as galáxias de cada par (Δv) ≤ 500 km/s e a separação proje-

tada entre as galáxias do par (r_p) ≤ 100 Kpc. Também optamos por trabalhar apenas com galáxias que possuem todo o disco galáctico dentro do campo de captura do IFU, para um resultado mais preciso. A Figura 8, mostra a imagem de uma galáxia que pertence a um par físico, porém as partes mais externas do disco galáctico não estão dentro do campo de observação do IFU, sendo assim, esses objetos não foram considerados na amostra. Com esses critérios, foram selecionados um total de 63 pares de galáxias com redshift (z) ≤ 0.08 . É importante salientar que nesses dados do MaNGA, somente observações da galáxia principal do par estão disponíveis.

A Tabela 1, lista as principais características de uma parte da amostra estudada como: o número da placa do MaNGA, o ID do IFU, a ascensão reta (R.A) e a declinação(Decl.) da galáxia, a diferença de velocidade radial (Δv) e a separação projetada (r_p) entre as galáxias do par, o redshift (z), a distância até o objeto, a massa da galáxia e a luminosidade bolométrica da galáxia. A tabela completa está no Anexo A.

Figura 8 – Galáxia MaNGA 8257-3703, uma das galáxias em que o campo do IFU (em rosa) não consegue obter dados das partes externas da galáxia..



Fonte:(MANGA, 2020). Acesso em: 03 de setembro de 2020.

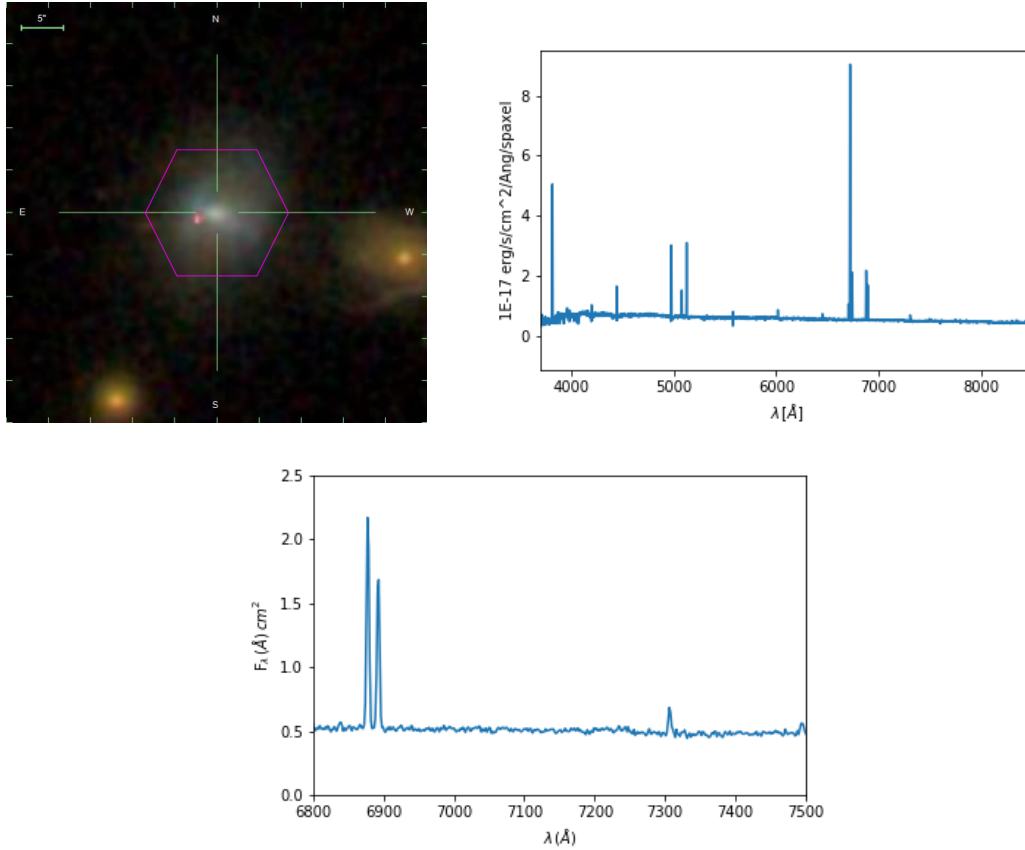
Tabela 1 – Parte da amostra de Pares de Galáxias

Placa	IFU	R.A (deg)	Decl. (deg)	Δv (km/s)	r_p (kpc)	z	D (Mpc)	M/M_\odot	L/L_\odot
8078	3703	42.3874	0.7844	252.6	61.9	0.0236	98.9811	1.90E+09	4.70E+09
8155	12703	53,7801	-0.8772	61.8	36.5	0.0369	160.8278	1.40E+10	4.81E+09
8332	12701	206.7099	42.6513	131.1	63.2	0.0283	120.9186	6.06E+09	1.89E+10
8601	12703	247.5741	40.5986	112.1	63.0	0.0289	134.1158	8.46E+09	1.31E+10
8715	12704	121,1725	50,7185	31.0	30,6	0,0227	98,8961	5,83E+08	2.18E+09
9182	12705	121,1320	39,9386	178,2	62,6	0,0404	178,7458	4,76E+09	5.84E+09

Fonte: O autor

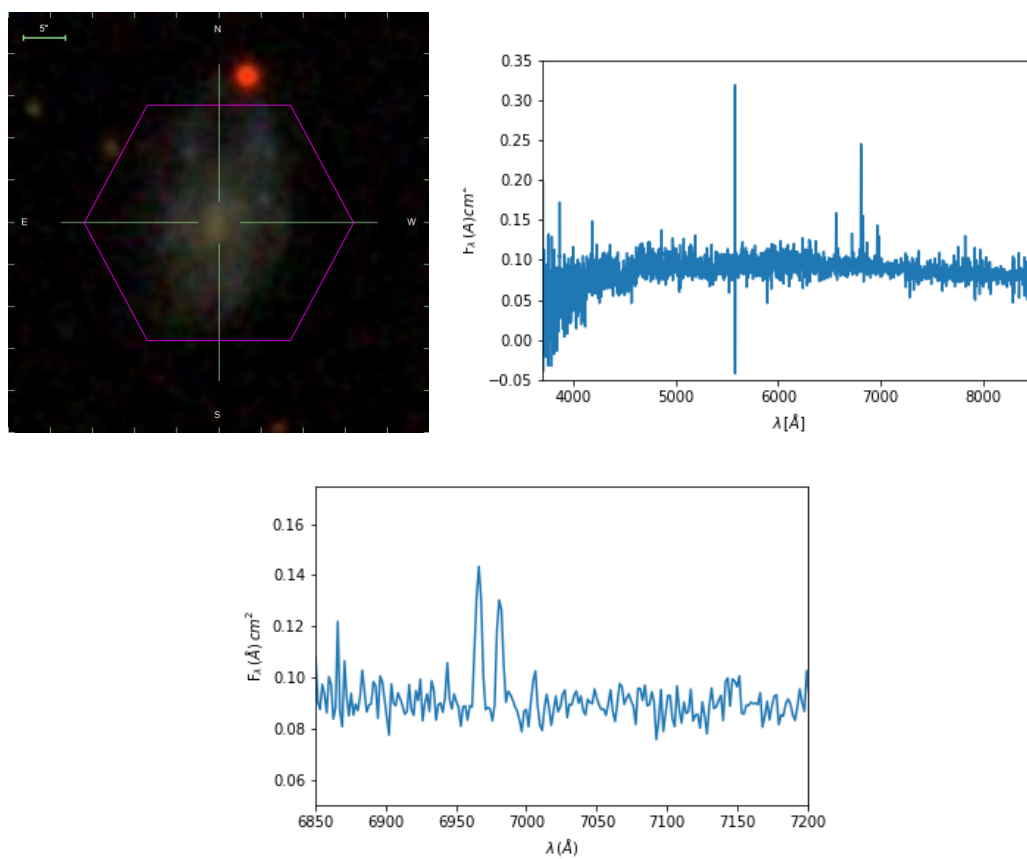
As Figuras 9 - 14 mostram imagens nas bandas *gri* de uma pequena amostra das galáxias, com o campo de visão do IFU sobreposto em rosa; o espectro correspondente ao spaxel central da galáxia e em destaque as linhas do [SII] $\lambda 6717$ e $\lambda 6731$. Para essa amostra, podemos verificar que é possível identificar o núcleo e a parte externa de cada galáxia.

Figura 9 – Pannel superior esquerdo: Imagem do campo de visão do IFU sobreposto a imagem da galáxia MaNGA 8078-3703 nas bandas g , r e i . Pannel superior direito: espectro do spaxel central da mesma galáxia. Pannel inferior: espectro correspondente ao spaxel central na região das linhas [SII] $\lambda 6717$ e $\lambda 6731$.



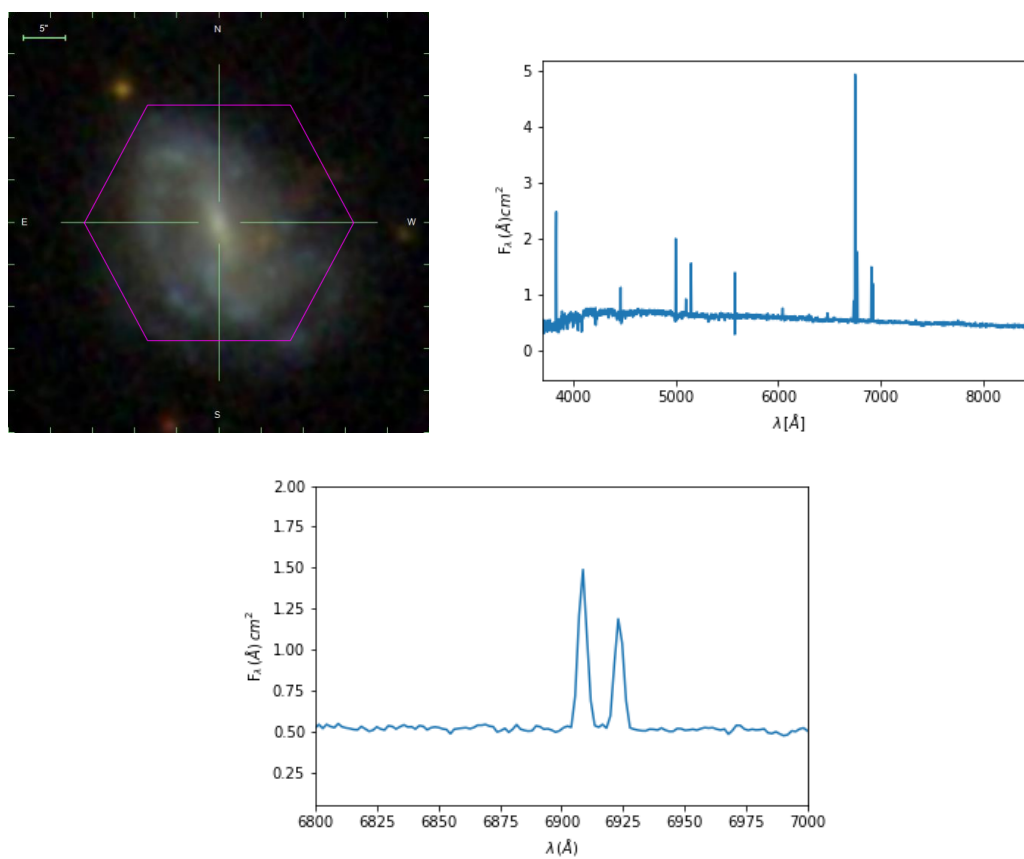
Fonte pannel superior: (MANGA, 2020). Acesso em: 07 de setembro de 2020. Fonte pannel central e inferior: O autor.

Figura 10 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8155-12703



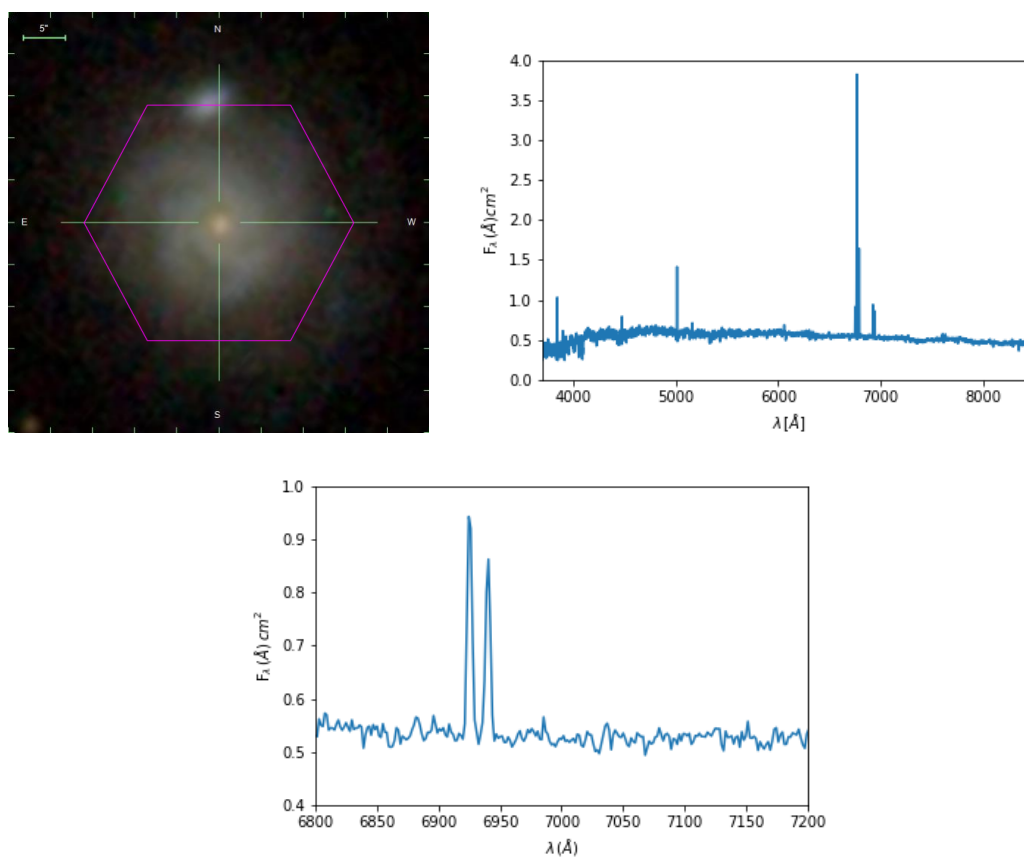
Fonte painel superior: (MANGA, 2020). Acesso em: 07 de setembro de 2020. Fonte painel central e inferior: O autor.

Figura 11 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8332-12701



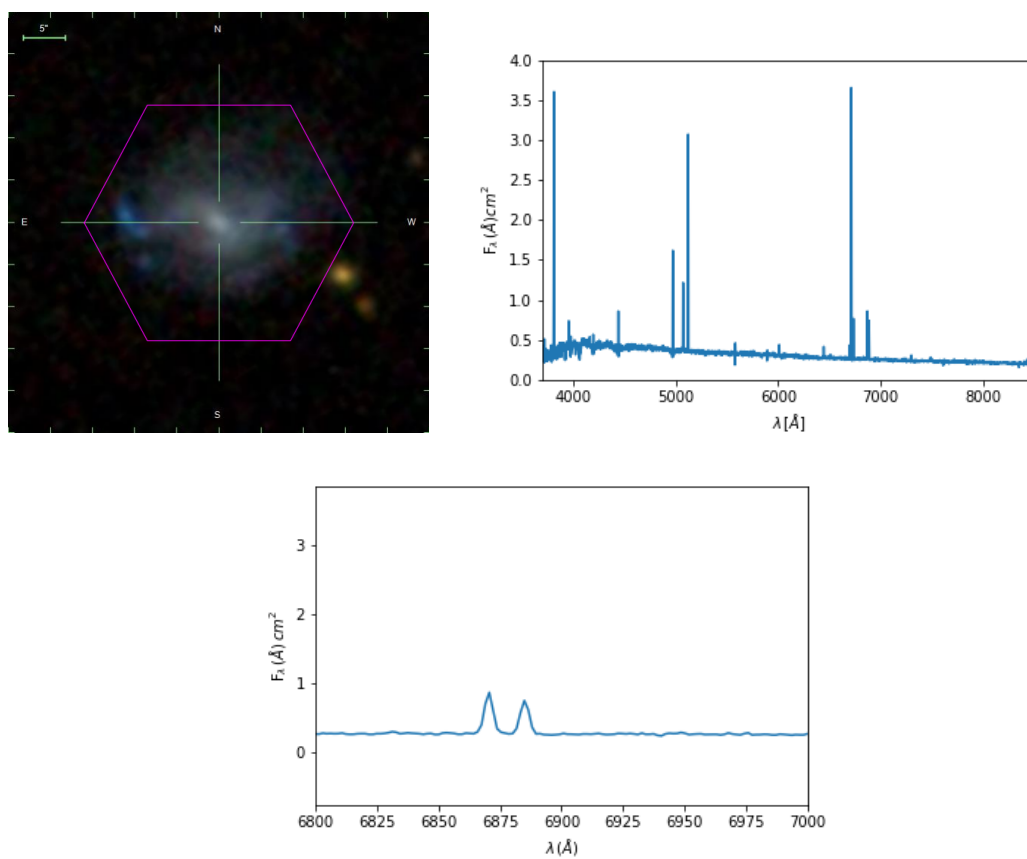
Fonte painel superior: (MANGA, 2020). Acesso em: 07 de setembro de 2020. Fonte painel central e inferior: O autor.

Figura 12 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8601-12703



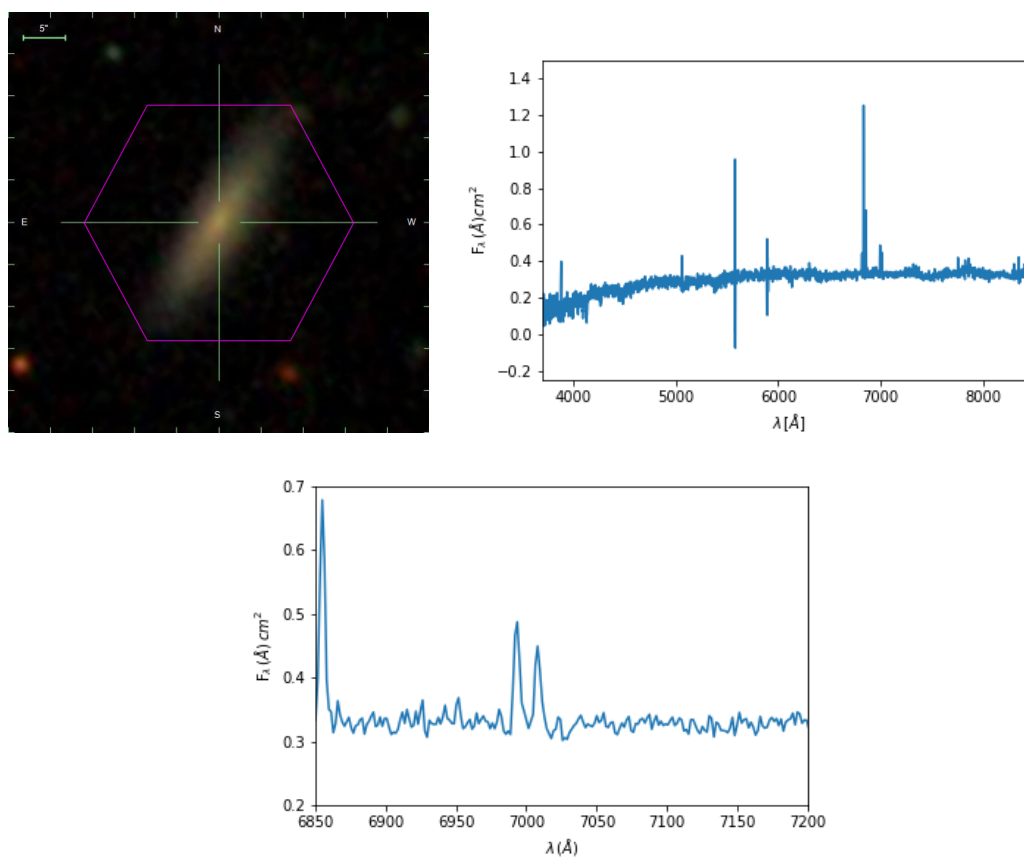
Fonte painel superior: (MANGA, 2020). Acesso em: 07 de setembro de 2020. Fonte painel central e inferior: O autor.

Figura 13 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 8715-12704



Fonte painel superior: (MANGA, 2020). Acesso em: 07 de setembro de 2020. Fonte painel central e inferior: O autor.

Figura 14 – Mesmo que a figura 9, mas para a galáxia MaNGA 9182-12705



Fonte painel superior: (MANGA, 2020). Acesso em: 07 de setembro de 2020. Fonte painel central e inferior: O autor.

3 Metodologia

3.1 Determinação das intensidades das linhas

As medidas das linhas de emissão [SII] λ 6716 e [SII] λ 6731 foram obtidas a partir do catálogo Pipe3D do MaNGA. Esse catálogo apresenta vários dados que são obtidos através do pipeline Pipe3D, que são provenientes do resultado da análise da população estelar e do gás ionizado. A descrição desses dados é apresentada em detalhe em [Sánchez et al. \(2016a\)](#) e [Sánchez et al. \(2016b\)](#).

Brevemente, as intensidades das linhas de emissão são obtidas do espectro residual, isto é, do espectro nebuloso puro, que é obtido após a subtração da componente estelar do espectro. As intensidades das linhas de emissão são estimadas através de um ajuste de perfil gaussiano para cada uma das linhas. Para maiores informações veja ([SÁNCHEZ et al., 2016a](#); [SÁNCHEZ et al., 2016b](#)). É importante ressaltar, que os fluxos das linhas de emissão não foram corrigidos pelo efeito da poeira interestelar. Como as linhas do [SII] λ 6716 e [SII] λ 6731 são muito próximas em comprimento de onda esse efeito é desprezível.

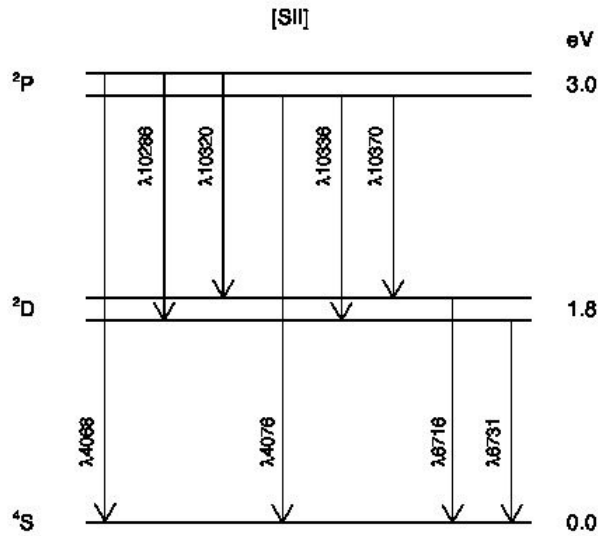
3.2 Determinação da Densidade Eletrônica

A densidade eletrônica é determinada a partir da razão da intensidade de linhas de emissão emitidas a partir de um mesmo íon correspondente à transição de um mesmo nível para níveis diferentes, mas com energias de excitação próximas. Se esses dois níveis têm probabilidades diferentes de transição radiativa, logo sua população relativa dependerá essencialmente da N_e , e quase não terá dependência com a temperatura.

Alguns exemplos de íons com essa estrutura presentes nas regiões HII são o [OII], [ClIII] e [ArIV] que, também, poderiam ser utilizados para a determinação da N_e . As linhas do [O II] que podem ser utilizadas são λ 3726 e λ 3729, mas o BOSS não possui resolução espectral suficiente para resolver as duas linhas separadamente. No caso do [Ar IV], as linhas utilizadas são λ 4740 e λ 4711, entretanto a linha λ 4711 está muito próximo da linha do [HeI], que é a λ 4713 e ocorre o mesmo problema citado anteriormente, o equipamento utilizado não consegue separar as duas linhas e acaba por misturar o fluxo, o que geraria erro nos cálculos. Ainda sobre as linhas do [ArIV] e também sobre as do [ClIII], essas linhas apresentam baixa emissão e acabam por se misturar com o contínuo estelar, o que torna difícil a detecção pelo equipamento.

A Figura 15 apresenta o diagrama dos níveis de energia da configuração p^3 do [SII].

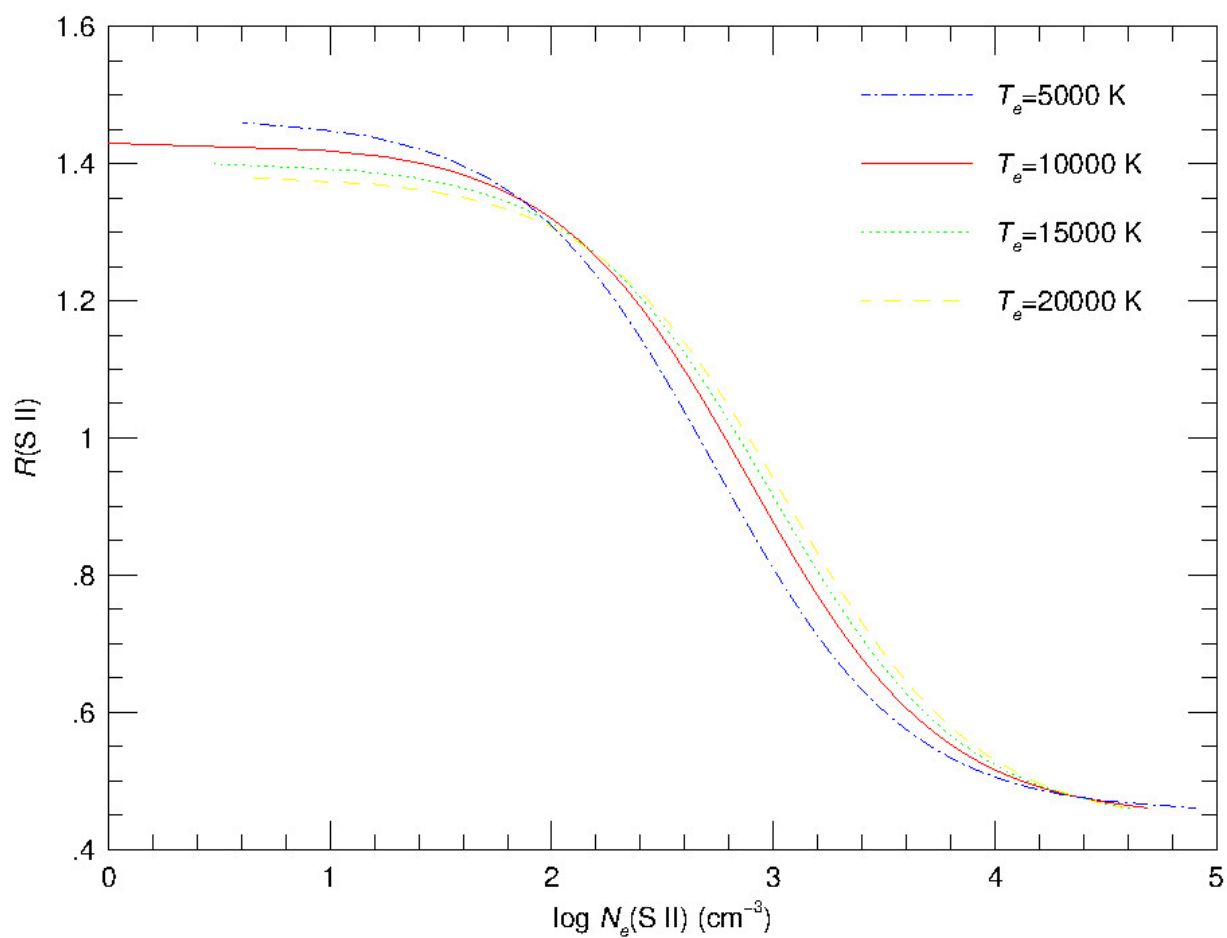
Figura 15 – Diagrama dos níveis [SII].



Fonte: Krabbe 2006

Para cada spaxel da amostra considerada nesse trabalho, as N_e foram determinadas empregando-se [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$, utilizando uma equação derivada da rotina *temdem* do pacote *nebular* IRAf do *STSDAS/IRAF*. A equação é obtida resolvendo numericamente as equações de equilíbrio para um átomo de 5 níveis assumindo os níveis de energia dadas por Bowen (1960) e Verner, Verner e Ferland (1996), as probabilidades de transição de Verner, Verner e Ferland (1996), Keenan et al. (1993) e as forças de colisão de Ramsbottom, Bell e Stafford (1996). Todas as estimativas de N_e foram calculadas assumindo uma temperatura eletrônica de $T_e = 10\,000\text{K}$, que é a temperatura típica de regiões HII (KENNICUTT; BRESOLIN; GARNETT, 2003; HÄGELE et al., 2008)

A principal fonte de erro associada com a determinação da N_e é a saturação das razões de linha, tanto a altos como a baixos valores de N_e . Dessa forma, as medidas de densidade eletrônica são consideradas confiáveis no intervalo de $2.45 < \log N_e(\text{cm}^{-3}) < 3.85$ (STANGHELLINI; KALER, 1989). Utilizamos o intervalo de $2 < \log N_e(\text{cm}^{-3}) < 3$ para os cálculos da N_e média. Outra fonte de erro, é a dependência da densidade eletrônica na temperatura eletrônica assumida. Entretanto, essa dependência é muito pequena para o intervalo de N_e determinadas nesse trabalho. A Figura 16 mostra os limites nos quais é possível determinar a N_e a partir da razão das linhas do [S II] e também podemos observar as curvas da N_e para diferentes valores de temperatura eletrônica.

Figura 16 – [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$, em função do $\log N_e$ para a razão [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$.

Fonte: Krabbe 2006

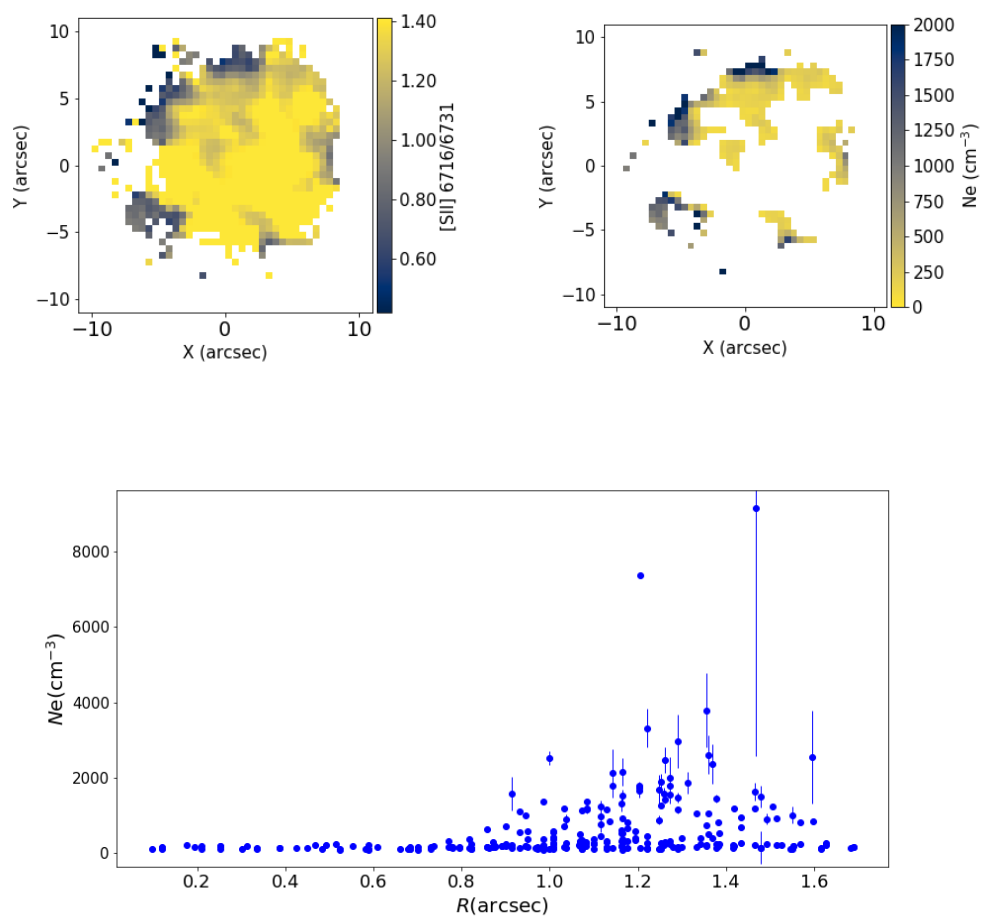
4 Resultados e discussões

4.1 Variações espaciais da densidade eletrônica

A densidade eletrônica foi estimada para uma amostra de 58 galáxias pertencentes a pares no universo próximo, com $z \leq 0.08$. A amostra foi definida utilizando como critérios a separação projetada ≤ 100 kpc e a diferença de velocidade radial ≤ 500 km/h. Devido a saturação da razão das linhas do [SII], derivamos a N_e no intervalo de $2 \leq \log N_e \leq 4$. Nossa amostra não possui as duas galáxias do par observados pelo MaNGA, ou seja, apenas um objeto de cada par é catalogado no MaNGA, nos gerando dados de apenas um objeto de cada par. As Figuras 17 - 22, apresentam os mapas da razão [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$, mapas da densidade eletrônica ao longo do disco galáctico e o perfil radial da densidade eletrônica para algumas galáxias de nossa amostra. A Tabela 2 apresenta as estatísticas da N_e , incluindo a média, o desvio padrão σ , o erro padrão, a mediana, o valor máximo (max), e o valor mínimo (min) da N_e . A Figura 23 apresenta o histograma para as densidades eletrônicas médias das galáxias de nossa amostra.

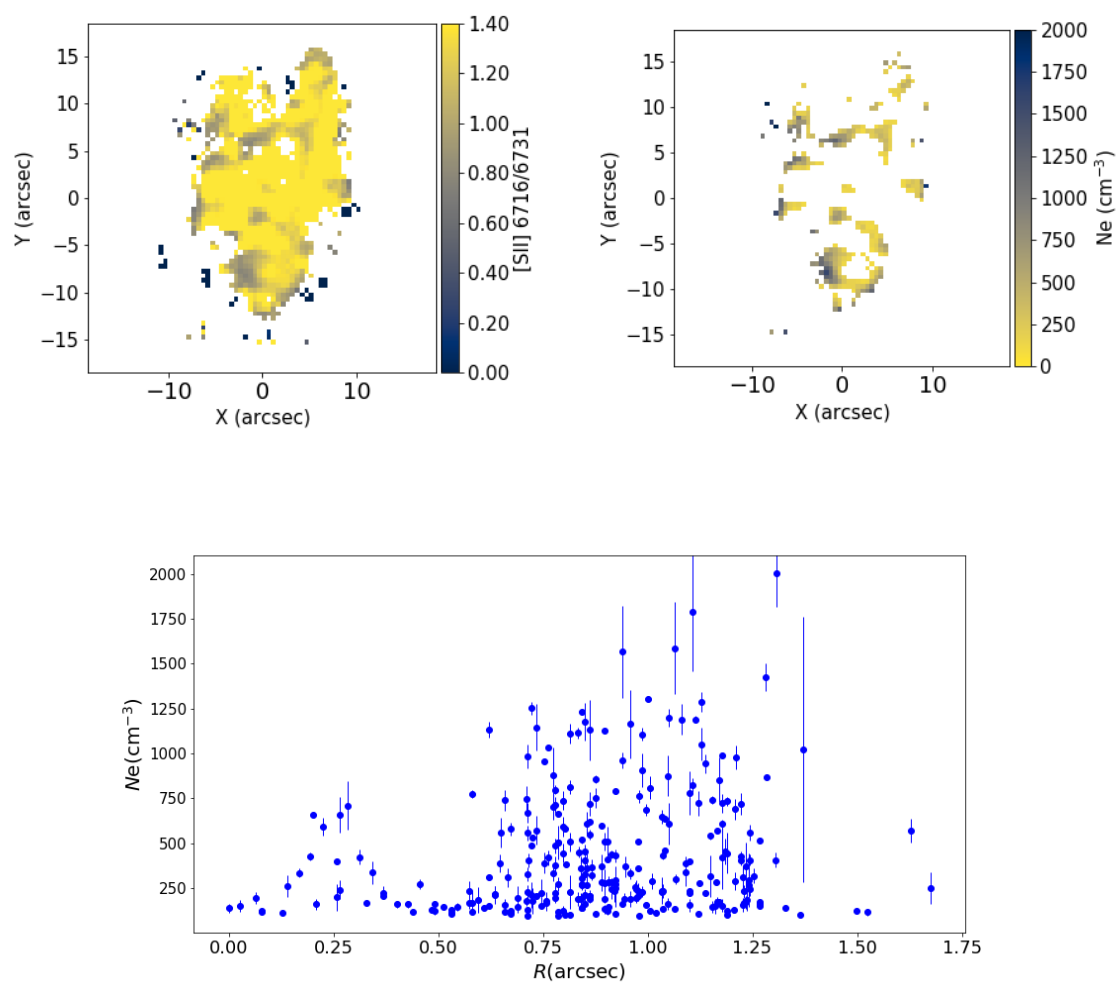
É esperado que as densidades eletrônicas de regiões HII em galáxias em interação apresentem valores sistematicamente maiores do que aqueles encontrados em objetos isolados. De fato, [Krabbe et al. \(2014\)](#) utilizando observações de fenda longa verificaram que as densidades eletrônicas médias das galáxias em interação estão num intervalo de $N_e \approx 24 - 532 \text{ cm}^{-3}$, enquanto para as isoladas estão num intervalo de $N_e \approx 40 - 137 \text{ cm}^{-3}$. Nesse trabalho obtivemos densidades eletrônicas médias de $N_e \approx 145 - 2400 \text{ cm}^{-3}$ que, em comparação com as N_e médias de galáxias isoladas consideradas por [Krabbe et al. \(2014\)](#), são sistematicamente maiores do que as isoladas. Entretanto, por serem métodos de observações diferentes, seria necessário comparar nossos resultados com uma amostra de galáxias isoladas observadas com o MaNGA, para que tenhamos comparações de medidas utilizando a mesma técnica de observação.

Figura 17 – Galáxia MaNGA 8078-3703 - Painel superior esquerdo: mapa da razão $[\text{SII}] \lambda 6716/\lambda 6731$. Painel superior direito: mapa das N_e . Painel inferior: perfil radial da densidade eletrônica.



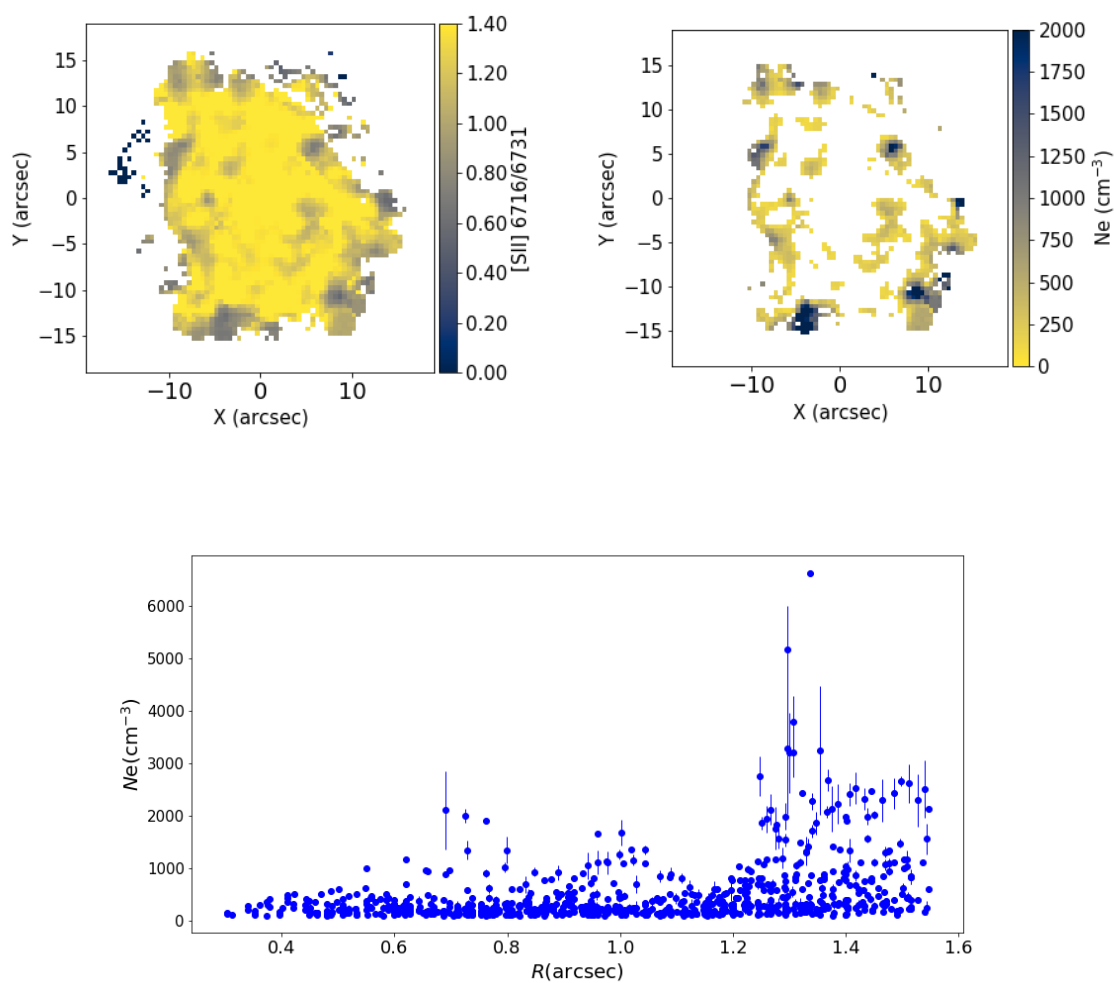
Fonte: o autor.

Figura 18 – Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8155-12703



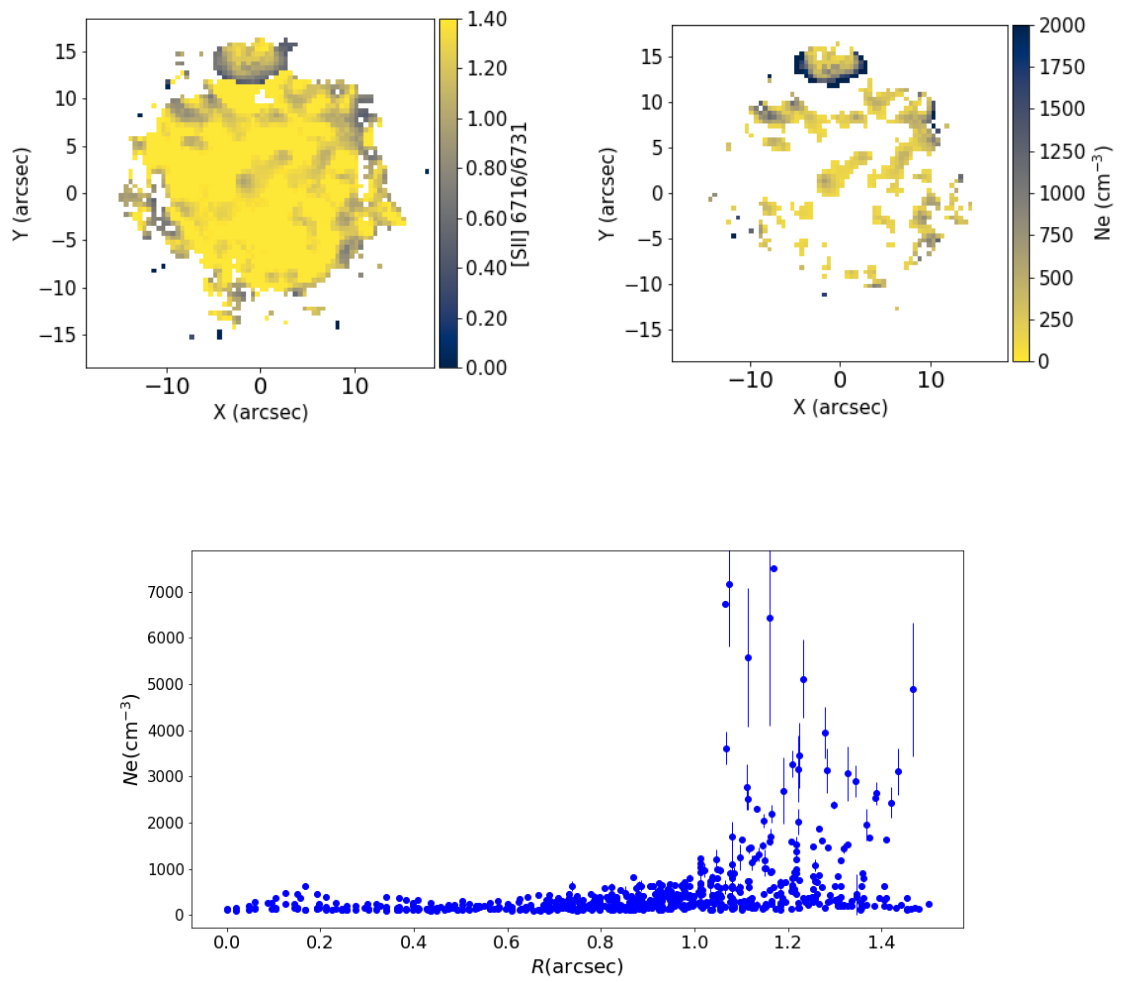
Fonte: o autor.

Figura 19 – Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8332-12701.



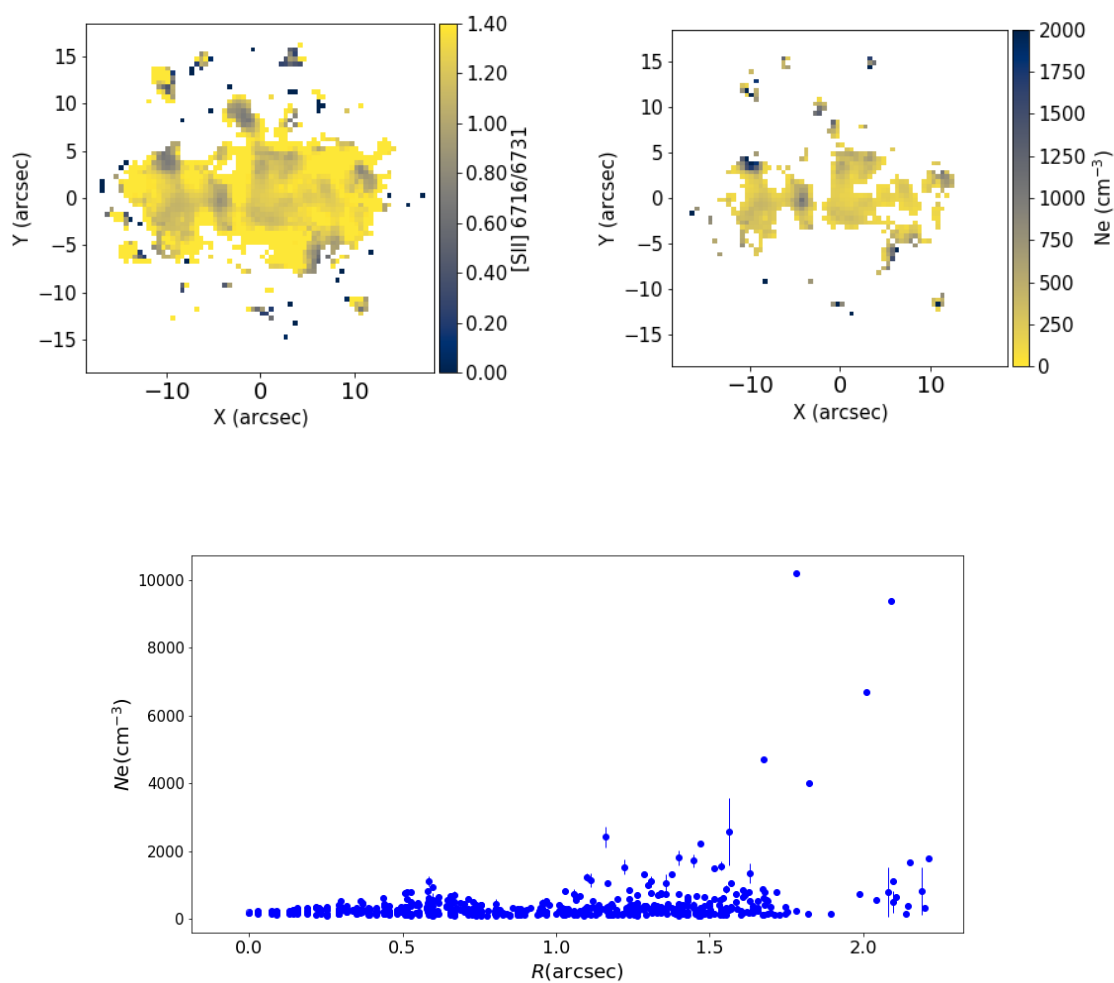
Fonte: o autor.

Figura 20 – Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8601-12703



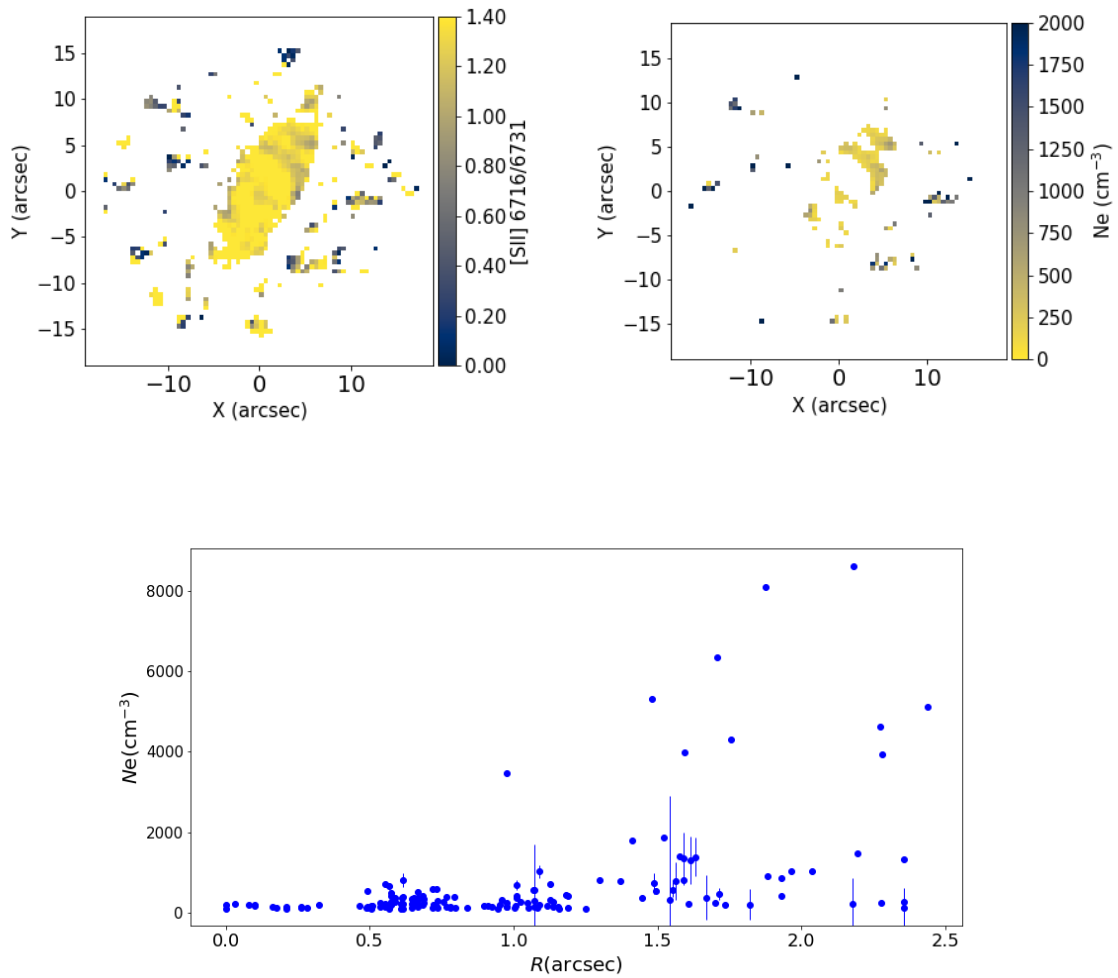
Fonte: o autor.

Figura 21 – Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 8715-12704



Fonte: o autor.

Figura 22 – Mesmo da figura 17 mas para a galáxia MaNGA 9182-12705



Fonte: o autor.

Tabela 2 – Estatísticas da densidade eletrônica.

Placa	IFU	media	σ	erro	mediana	max	min
8078	3703	605	931	140	236	9159	99
8078	3704	403	301	45	309	1565	98
8080	12704	1018	1556	180	421	9834	102
8081	3704	261	311	47	158	2340	100
8084	9101	1499	1982	244	673	9063	105
8084	9102	347	659	82	199	8414	98
8141	9102	413	731	91	199	9845	98
8149	6103	1148	2141	291	328	9970	101
8153	6102	272	247	34	169	1905	99
8154	12704	854	1099	128	639	5866	104

Tabela 2 – continuação.

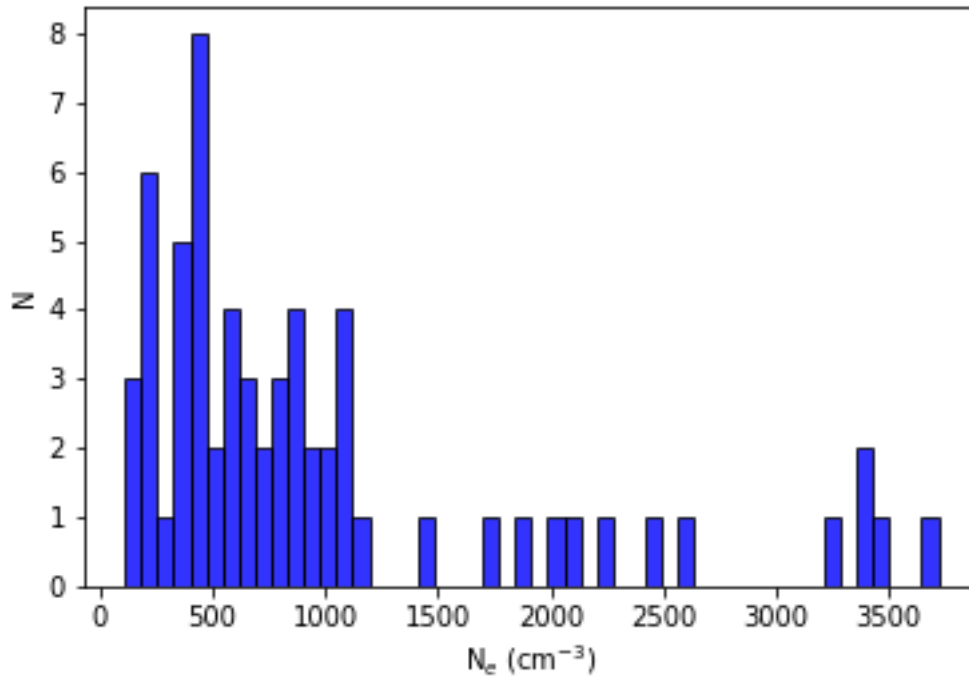
Placa	IFU	média	σ	erro	mediana	máx	min
8155	12703	452	445	52	303	5477	99
8241	6101	436	668	93	249	7416	99
8250	3704	988	1893	285	312	10135	98
8254	12705	2158	2283	265	1215	10142	99
8255	3702	439	564	84	275	5965	99
8320	3702	278	251	38	197	1566	99
8332	12701	496	582	67	296	6632	99
8335	12702	653	675	77	434	4537	105
8440	6102	625	872	119	321	5585	99
8454	12702	723	1133	132	345	9200	99
8455	12705	603	1254	146	289	7684	101
8455	3701	174	105	16	137	883	100
8455	6101	247	233	32	204	1778	98
8458	12702	1420	1879	218	537	9341	98
8458	3702	239	155	24	179	766	99
8465	12704	1172	1679	195	485	9877	105
8485	3704	1273	1963	296	367	9095	98
8549	6104	257	665	90	238	3709	102
8549	9102	452	740	92	260	9445	99
8550	12703	434	342	39	376	4143	99
8551	12701	529	1042	121	228	9077	99
8567	9101	462	661	83	266	5333	99
8601	12703	499	806	94	255	7510	99
8602	9101	342	524	65	220	8403	99
8624	12704	1494	1948	226	613	9342	108
8625	3703	595	1241	187	290	8776	112
8626	9101	321	451	56	249	8066	98
8655	6102	551	642	87	346	7049	99
8715	12704	414	753	87	256	10207	98
8726	12705	1719	2204	256	798	9962	98
8931	12703	1515	1643	188	955	8979	111
8932	6103	1885	1914	260	1155	8235	109
8934	12703	868	1410	164	378	10123	99
8934	9102	2345	2164	270	1721	9486	254
8935	9102	2271	2290	286	1530	9856	124
8946	6103	463	778	106	285	7165	98

Tabela 2 – continuação.

Placa	IFU	média	σ	erro	mediana	máx	min
8948	3703	642	967	146	264	4604	100
8984	12704	145	1584	185	418	9886	100
8987	3701	516	1022	154	261	7942	99
8999	6101	775	892	122	412	6074	101
9024	12705	579	772	90	337	8945	98
9035	6104	1246	1682	289	614	8359	99
9042	12701	883	1382	161	295	7798	99
9044	9101	1377	1887	235	629	9355	100
9050	9101	429	645	79	263	9019	98
9095	12705	640	1018	118	300	7636	99
9182	12705	832	1542	177	268	9433	102
9500	3702	505	762	115	211	3908	102
9510	12702	257	1071	123	261	10031	99
9863	6102	2398	2413	328	1571	9951	137

Fonte: o autor

Figura 23 – Histograma da N_e média.



Fonte: O autor

Analisando os perfis radiais das densidade eletrônica das galáxias de nossa amostra

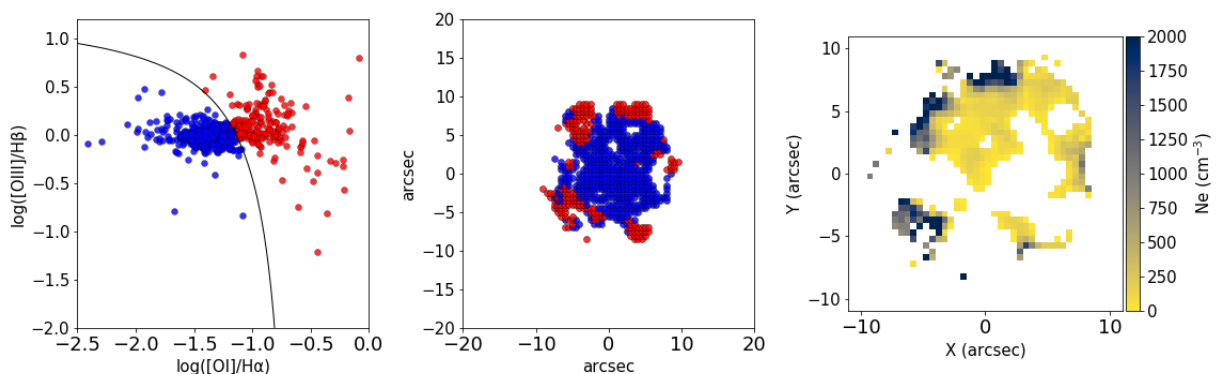
é possível verificar que existe variações sistemáticas de N_e ao longo do raio das galáxias. Observamos também que todas elas possuem N_e altas na parte externa do disco galáctico, podendo ter relação com a perturbação gravitacional devido a interação.

Observando o histograma verificamos que 45 galáxias, aproximadamente 70 % da amostra, apresentam N_e médias abaixo de 1000 cm^{-3} e apenas 5 galáxias possuem uma N_e maior que 3000, que são MaNGA 8932-6103, MaNGA 9863-6102, MaNGA 8935-9102, MaNGA 8934-9102 e MaNGA 8931-12703.

4.2 Investigando os valores altos da N_e

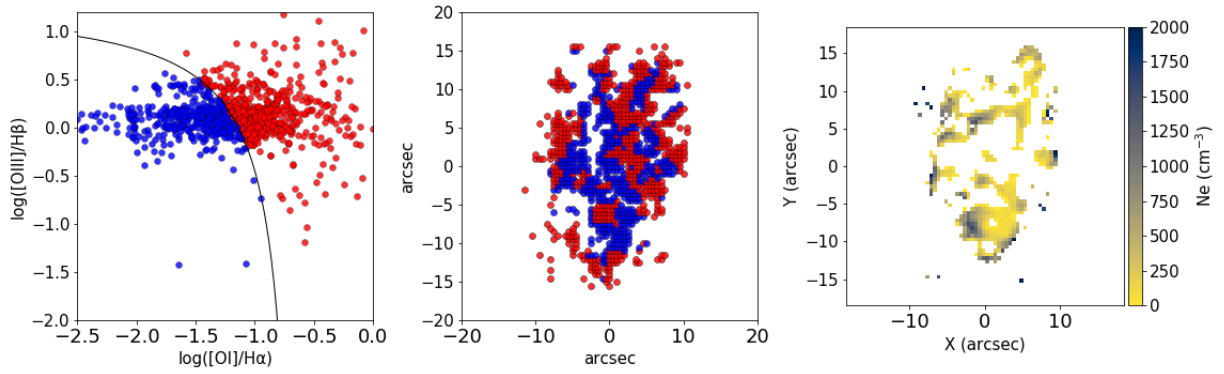
Para analisar se a presença do gás excitado por choque produz altos valores de densidade eletrônica N_e , utilizamos o diagrama proposto inicialmente por Baldwin, Phillips e Terlevich (1981) e conhecido como diagrama BPT. Esse diagrama é baseado nas razões de linhas $[\text{OI}]\lambda 6300/\text{H}\alpha$ vs $[\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta$. Para esse diagrama, Kewley et al. (2001) estabeleceu uma linha teórica que separa as regiões de formação estelar e regiões de gás excitado por choque. A cor azul foi utilizada para marcar as regiões de formação estelar e a cor vermelha para definir as regiões de gás excitado por choque. As Figuras 24 a 29 apresentam o diagrama BPT para uma amostra de galáxias, a distribuição espacial das regiões da galáxia de acordo com o principal mecanismo de ionização mostrado no diagrama BPT e a distribuição espacial da densidade eletrônica.

Figura 24 – MaNGA 8078-3703 - Painel esquerdo: diagrama BPT baseado nas razões de linha $\log([\text{OI}]/\text{H}\alpha)$ vs $\log([\text{O III}]/\text{H}\beta)$. A curva sólida representa o limite de separação das regiões de formação estelar (azul) e regiões de excitação de gás por choque (em vermelho). Painel central: distribuição espacial das regiões observadas no painel esquerdo, seguindo o mesmo esquema de cores. Painel direito: distribuição espacial da N_e .



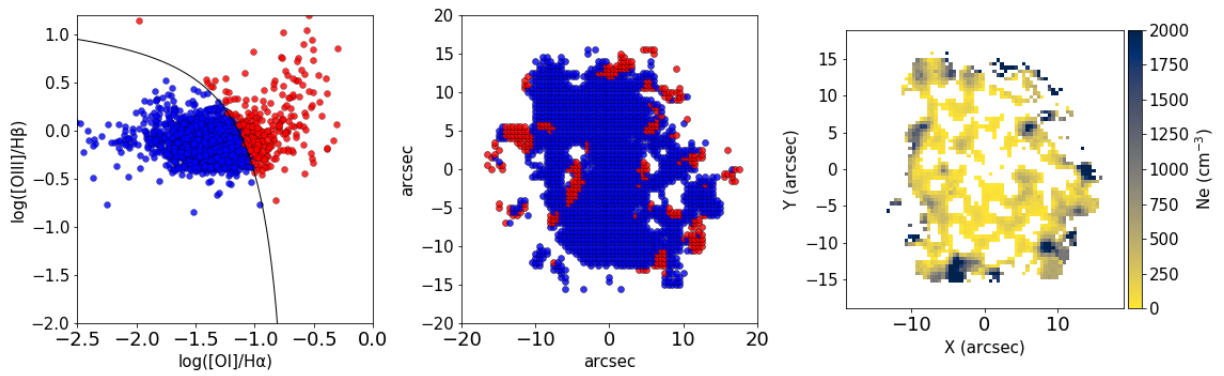
Fonte: o autor.

Figura 25 – Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8155-12703.



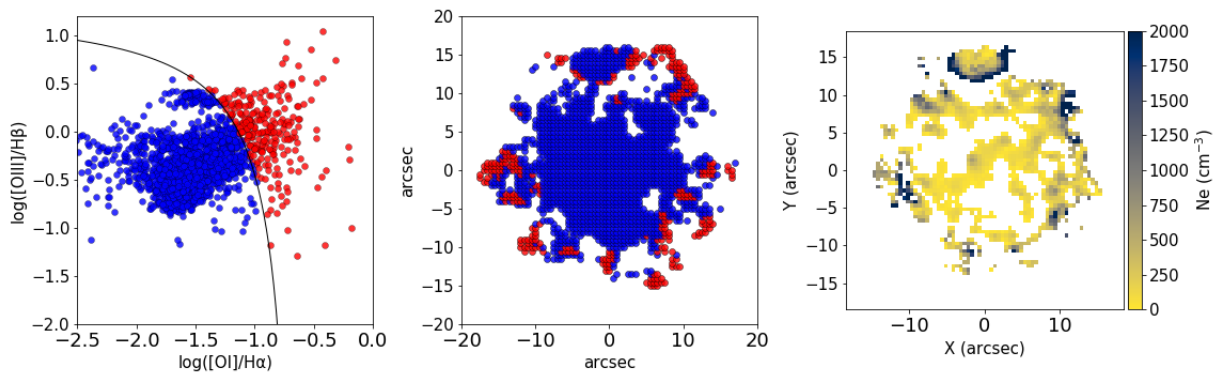
Fonte: o autor.

Figura 26 – Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8332-12701.



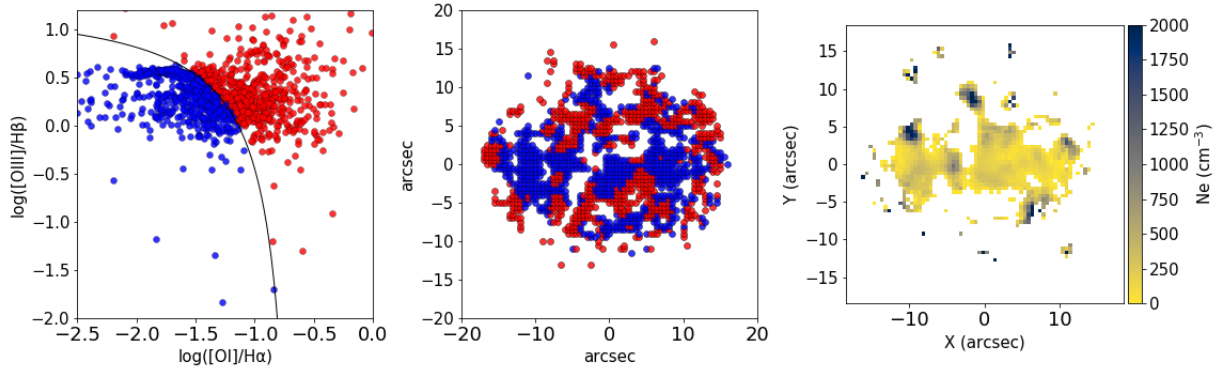
Fonte: o autor.

Figura 27 – Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8601-12703.



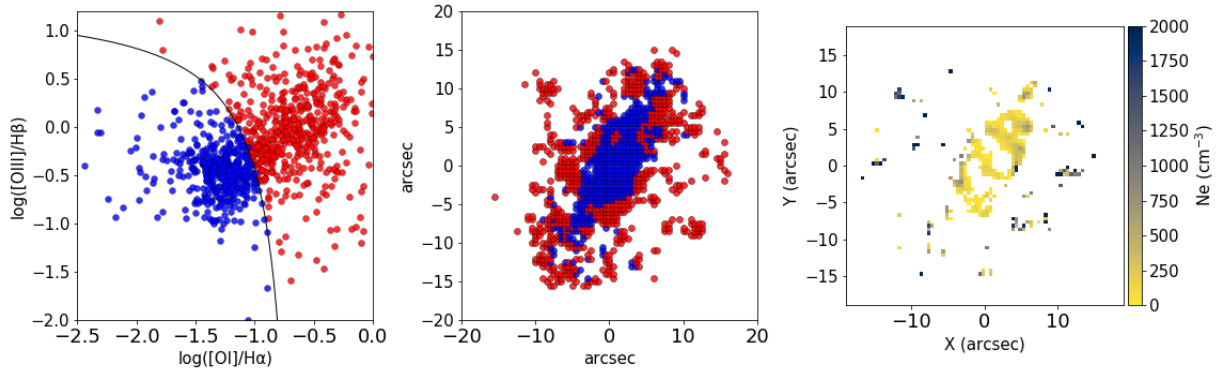
Fonte: o autor.

Figura 28 – Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 8715-12704.



Fonte: o autor.

Figura 29 – Mesmo da figura 24, mas para a galáxia MaNGA 9182-12705.



Fonte: o autor.

Os alto valores de densidade eletrônica associados à região de excitação de choque em galáxias em interação é de suma importância para entender como o fluxo de gás funciona nelas. Comparando os diagramas com os mapas de N_e , podemos observar que as altas N_e estão associadas as regiões de excitação de gás por choque, principalmente nas areas externas. Como galáxias em interação causam redistribuição do gás ao longo do disco galáctico, essas altas densidades na borda do disco pode estar associada a movimentação do gás devido a interação e os efeitos gravitacionais causados pela galáxia companheira.

4.3 Relação da N_e com a separação projetada, diferença da velocidade radial, luminosidade e massa da galáxia

Nessa seção serão analisados as correlações entre a densidade eletrônica média de cada galáxia com a separação projetada (r_p), a diferença de velocidade radial do par (Δ_v), a massa e a luminosidade da galáxia, e também a mesma análise será feita com a mediana

de cada galáxia. Esses dados que serão relacionados com as médias e as medianas, obtidas dos cubos de dados [GEMA \(2020\)](#) e [Pipe3D \(2020\)](#) Estimamos o coeficiente de correlação, R^2 , que mede o grau de correlação entre duas variáveis e também o valor-p, *p-value*, que determina a significância dos resultados em relação à hipótese nula, sendo que um valor de $p \leq 0.05$ é estatisticamente significativo e um valor superior a 0.05 não é estatisticamente significativo e indica forte evidência para uma hipótese nula.

O erro da média foi dado pelo erro padrão, definido por

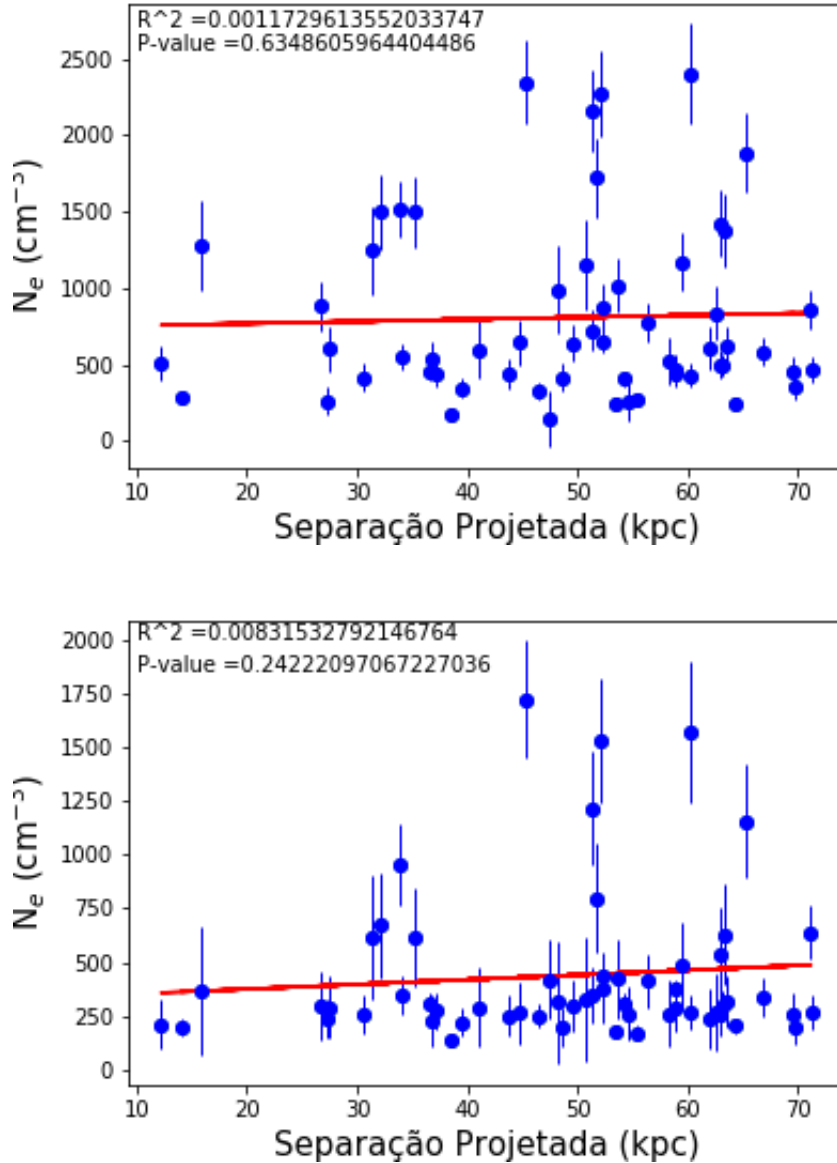
$$\frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (4.1)$$

sendo σ o desvio padrão para os dados de cada galáxia individualmente e N a quantidade de dados válidos em cada galáxia.

4.3.1 Análise das relações

Como abordado anteriormente, a diminuição da r_p entre as galáxias em interação causa o aumento da SFR ([ELLISON et al., 2010](#)). Neste trabalho, verificamos se a r_p entre o par de galáxias possui alguma relação com a N_e média das galáxias. Na figura 30 mostramos a relação de r_p do par de galáxias em interação com a N_e média e a mediana para a nossa amostra de galáxias.

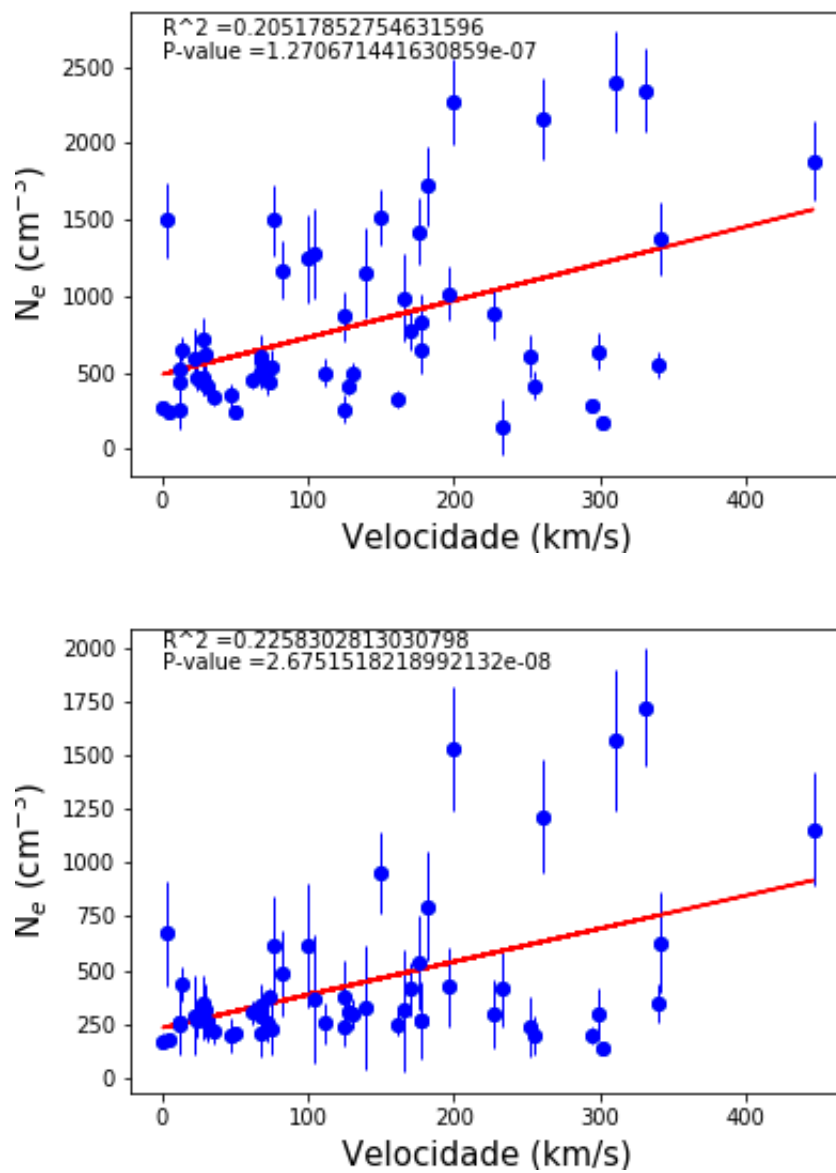
Figura 30 – Painel superior: N_e em função da r_p . Painel inferior: mediana da N_e em função da r_p .



Fonte: O autor

Avaliamos também a diferença de velocidade radial (Δv) entre o par em interação, a massa da galáxia e a luminosidade. A (Δv) é a diferença de velocidade entre as duas galáxias que estão em interação. Ainda, sabendo que, para a nossa amostra o MaNGA possui dados de apenas uma das galáxias, a massa e a luminosidade foi determinada somente para a galáxia principal. Na figura 31 mostramos a relação entre a (Δv) e a N_e média e a mediana de cada galáxia da amostra.

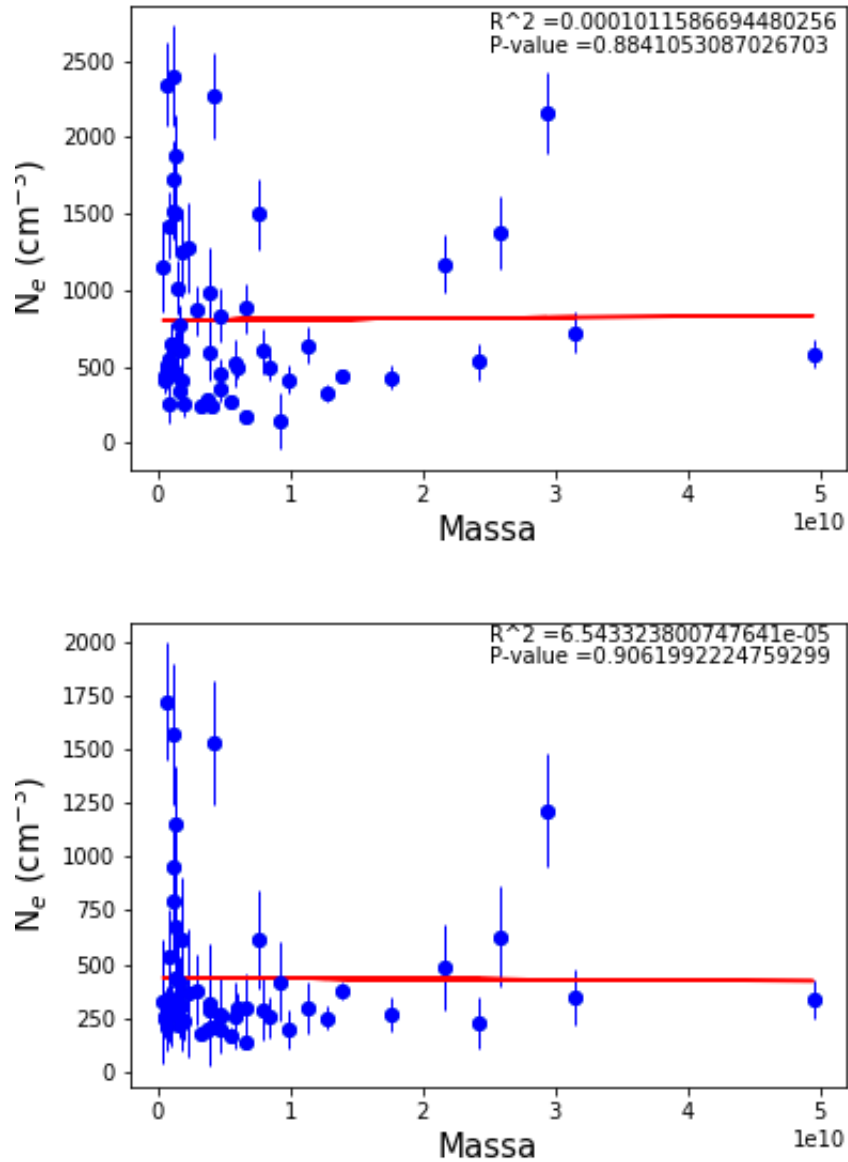
Figura 31 – Painel superior: N_e em função da Δv . Painel inferior: mediana da N_e em função da Δv .



Fonte: O autor

Na figura 32 a N_e média e mediana versus a massa e a luminosidade das galáxias é mostrada.

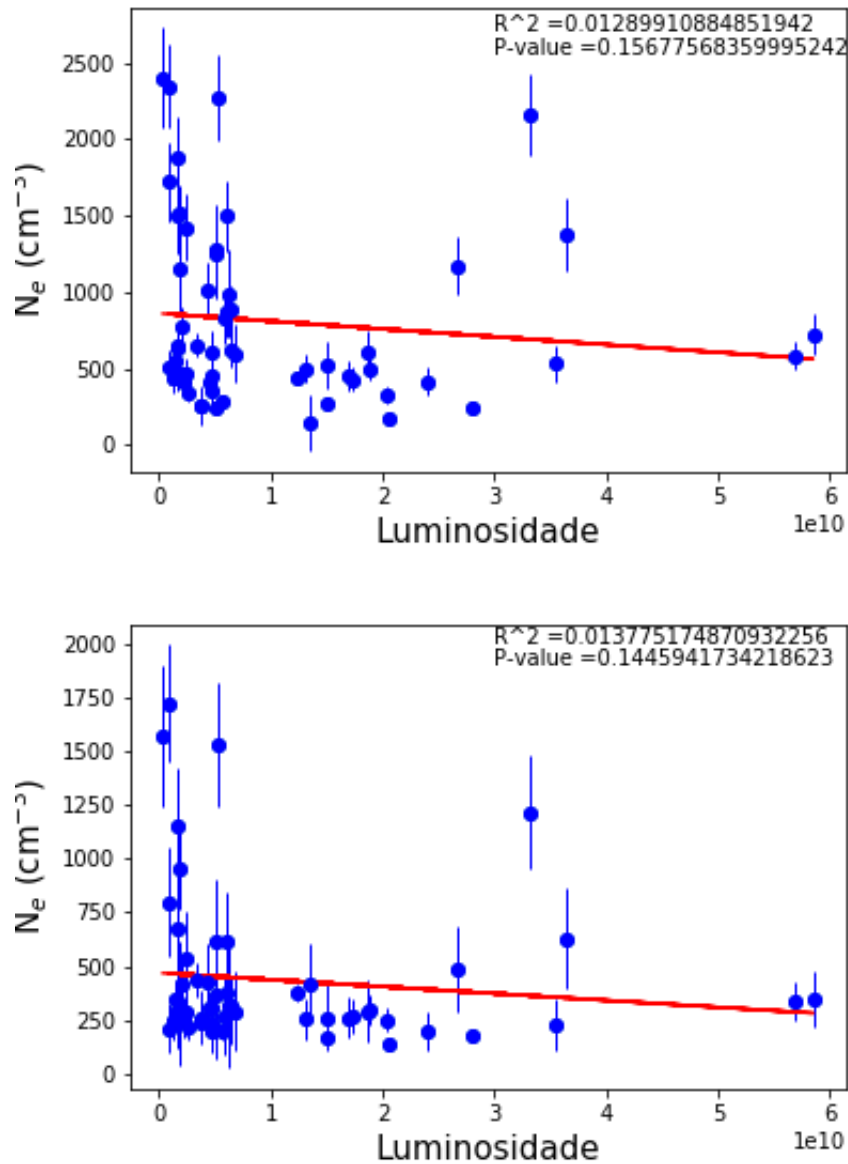
Figura 32 – Painel superior: N_e em função da M/M_\odot . Painel inferior: mediana da N_e em função da M/M_\odot .



Fonte: O autor

A Figura 33 mostra a N_e média e mediana em função da luminosidade bolométrica (L/L_\odot) das galáxias.

Figura 33 – Painel superior: média da N_e em função da L/L_\odot . Painel inferior: mediana da N_e em função da L/L_\odot .



Fonte: O autor

Como pode ser visto nessas figuras, nenhuma relação entre a N_e e a separação projetada dos pares, as diferenças das velocidades radiais, a massa e/ou a luminosidade das galáxias é encontrada.

5 Conclusões e perspectivas

Neste trabalho apresentamos um estudo observacional sobre os efeitos das interações de galáxias na densidade eletrônica do gás ionizado em uma amostra significativa de galáxias em interação. Para tanto combinamos dados do survey do MaNGA, que compreendem espectroscopia de campo integral em um intervalo de comprimento de onda de 3 600 a 10 000 Å, com uma resolução de $R \approx 2000$. Foi selecionada uma amostra de 58 objetos do arquivo público do MaNGA. A densidade eletrônica N_e foi estimada a partir da [SII] $\lambda 6716/\lambda 6731$.

Variações sistemáticas de densidade eletrônica foram detectadas em todos os objetos estudados. Os valores das densidades médias dos objetos estão em um intervalo de $N_e \approx 145 - 2\,400 \text{ cm}^{-3}$ e são sistematicamente maiores do que aqueles encontrados em galáxias isoladas, que estão em um intervalo de $N_e \approx 40 - 137 \text{ cm}^{-3}$, segundo [Krabbe et al. \(2014\)](#). Observando os mapas da N_e e os gráficos do perfil radial da N_e , notamos que todos os objetos da amostra apresentam altas densidades, principalmente na parte externa do raio galáctico.

Utilizamos o diagrama BPT baseado nas razões de linha [OI]/ $H\alpha$ vs [OIII]/ $H\beta$ para associar as regiões de alta densidade com gás excitado por choque, e verificamos que em vários objetos as altas N_e podem estar associadas às regiões de gás excitado por choque, evidenciando que as altas densidades eletrônicas se devem a excitação de gás por choque. As médias das N_e foram relacionadas com Δv , r_p , L/L_\odot e M/M_\odot , entretanto nenhuma correlação foi encontrada entre N_e e esses parâmetros.

Referências

- APACHE. 2020. Disponível em: <<https://sloan.org/programs/research/sloan-digital-sky-survey>>.
- ARGUDO-FERNÁNDEZ, M.; VERLEY, S.; BERGOND, G.; PUERTAS, S. D.; CARMONA, E. R.; SABATER, J.; LORENZO, M. F.; ESPADA, D.; SULENTIC, J.; RUIZ, J. E.; LEON, S. Catalogues of isolated galaxies, isolated pairs, and isolated triplets in the local Universe. *Astronomy and Astrophysics*, v. 578, p. A110, jun. 2015.
- BALDWIN, J. A.; PHILLIPS, M. M.; TERLEVICH, R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. *PASP*, v. 93, p. 5–19, fev. 1981.
- BLANTON, M. R.; BERSHADY, M. A.; ABOLFATHI, B.; ALBARETI, F. D.; ET.AL. Sloan Digital Sky Survey IV: Mapping the Milky Way, Nearby Galaxies, and the Distant Universe. *Astrophysical Journal*, v. 154, n. 1, p. 28, jul. 2017.
- BOWEN, I. S. Wave Lengths of Forbidden Nebular Lines. II. *ApJ*, v. 132, p. 1, jul. 1960.
- BUNDY, K.; BERSHADY, M. A.; LAW, D. R.; ET.AL. Overview of the SDSS-IV MaNGA Survey: Mapping nearby Galaxies at Apache Point Observatory. *Astrophysical Journal*, v. 798, n. 1, p. 7, jan. 2015.
- BUSTAMANTE, S.; ELLISON, S. L.; PATTON, D. R.; SPARRE, M. Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - XIV. Galaxy mergers do not lie on the fundamental metallicity relation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 494, n. 3, p. 3469–3480, abr. 2020.
- CASTANEDA, H. O.; VILCHEZ, J. M.; COPETTI, M. V. F. Density studies on giant extragalactic HII regions. *Astronomy and Astrophysics*, v. 260, p. 370–380, Jul 1992.
- COPETTI, M. V. F.; CASTAÑEDA, H. O.; MALLMANN, J. A. H.; SCHMIDT, A. A. Internal Variations of Electron Density in Galactic H II Regions. In: Arthur, S. J.; Brickhouse, N. S.; Franco, J. (Ed.). *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*. [S.l.: s.n.], 2000. (Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series, v. 9), p. 343.
- DONZELLI, C. J.; PASTORIZA, M. G. Optical Spectroscopic Properties of a Sample of Interacting Galaxies. *Astrophysical Journal, Supplement*, v. 111, n. 1, p. 181–201, Jul 1997.
- ELLISON, S. L.; PATTON, D. R.; SIMARD, L.; MCCONNACHIE, A. W.; BALDRY, I. K.; MENDEL, J. T. Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - II. The effect of environment on interactions. *MNRAS*, v. 407, n. 3, p. 1514–1528, set. 2010.
- ETHERINGTON, J.; THOMAS, D. Measuring galaxy environments in large-scale photometric surveys. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 451, n. 1, p. 660–679, jul. 2015.
- FOSBURY, R. A. E.; HAWARDEN, T. G. A0035 “the cartwheel” a large southern ring galaxy. *Monthly Notices of the RAS*, v. 178, p. 473–487, Feb 1977.

GEMA. 2020. Disponível em: <https://www.sdss.org/dr15/data_access/value-added-catalogs/?vac_id=gema-vac-galaxy-environment-for-manga-value-added-catalog>.

HÄGELE, G. F.; DÍAZ, Á. I.; TERLEVICH, E.; TERLEVICH, R.; PÉREZ-MONTERO, E.; CARDACI, M. V. Precision abundance analysis of bright HII galaxies. *MNRAS*, v. 383, n. 1, p. 209–229, jan. 2008.

HOPKINS, P. F.; COX, T. J.; HERNQUIST, L.; NARAYANAN, D.; HAYWARD, C. C.; MURRAY, N. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 430, n. 3, p. 1901–1927, abr. 2013.

HUMMEL, E. The radio continuum properties of spiral galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, v. 93, n. 1-2, p. 93–105, Jan 1981.

KEENAN, F. P.; HIBBERT, A.; OJHA, P. C.; CONLON, E. S. Einstein A-coefficients for transitions among the $3s\bar{s}3p\bar{s}$ states of SII. *Physica Scripta*, v. 48, p. 129–130, ago. 1993.

KENNICUTT, J.; BRESOLIN, F.; GARNETT, D. R. The Composition Gradient in M101 Revisited. II. Electron Temperatures and Implications for the Nebular Abundance Scale. *ApJ*, v. 591, n. 2, p. 801–820, jul. 2003.

KENNICUTT R. C., J. Structural properties of giant H II regions in nearby galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 287, p. 116–130, Dec 1984.

KENNICUTT R. C., J.; KEEL, W. C. Induced nuclear emission-line activity in interacting spiral galaxies. *Astrophysical Journal, Letters*, v. 279, p. L5–L9, Apr 1984.

KENNICUTT ROBERT C., J.; KEEL, W. C.; HULST, J. M. van der; HUMMEL, E.; ROETTIGER, K. A. The Effects of Interactions on Spiral Galaxies. II. Disk Star Formation Rates. *Astronomical Journal*, v. 93, p. 1011, May 1987.

KEWLEY, L. J.; DOPITA, M. A.; SUTHERLAND, R. S.; HEISLER, C. A.; TREVENA, J. Theoretical Modeling of Starburst Galaxies. *ApJ*, v. 556, n. 1, p. 121–140, jul. 2001.

KEWLEY, L. J.; RUPKE, D.; ZAHID, H. J.; GELLER, M. J.; BARTON, E. J. Metallicity Gradients and Gas Flows in Galaxy Pairs. *Astrophysical Journal, Letters*, v. 721, n. 1, p. L48–L52, Sep 2010.

KRABBE, A. C.; COPETTI, M. V. F. Electron temperature fluctuations in planetary nebulae. *Astronomy and Astrophysics*, v. 443, n. 3, p. 981–994, Dec 2005.

KRABBE, A. C.; PASTORIZA, M. G.; WINGE, C.; RODRIGUES, I.; FERREIRO, D. L. Kinematics and physical properties of southern interacting galaxies: the minor merger AM2306-721. *Monthly Notices of the RAS*, v. 389, n. 4, p. 1593–1604, Oct 2008.

KRABBE, A. C.; PASTORIZA, M. G.; WINGE, C.; RODRIGUES, I.; DORS, O. L.; FERREIRO, D. L. The effects of the interactions on the kinematics, stellar population and metallicity of AM 2322-821 with Gemini/GMOS. *Monthly Notices of the RAS*, v. 416, n. 1, p. 38–50, Sep 2011.

KRABBE, A. C.; ROSA, D. A.; DORS, O. L.; PASTORIZA, M. G.; WINGE, C.; HÄGELE, G. F.; CARDACI, M. V.; RODRIGUES, I. Interaction effects on galaxy pairs with Gemini/GMOS- I: Electron density. *Monthly Notices of the RAS*, v. 437, n. 2, p. 1155–1170, Jan 2014.

- LAW, D. R.; CHERINKA, B.; TEAM, M. SDSS-IV MaNGA: Data Products, Quality, and Initial Public Release. In: *American Astronomical Society Meeting Abstracts #227*. [S.l.: s.n.], 2016. (American Astronomical Society Meeting Abstracts, v. 227), p. 312.13.
- LAW, D. R.; CHERINKA, B.; YAN, R.; ANDREWS, B. H.; BERSHADY, M. A.; BIZYAEV, D.; BLANC, G. A.; BLANTON, M. R.; BOLTON, A. S.; BROWNSTEIN, J. R.; BUNDY, K.; CHEN, Y.; DRORY, N.; D'SOUZA, R.; FU, H.; JONES, A.; KAUFFMANN, G.; MACDONALD, N.; MASTERS, K. L.; NEWMAN, J. A.; PAREJKO, J. K.; SÁNCHEZ-GALLEGO, J. R.; SÁNCHEZ, S. F.; SCHLEGEL, D. J.; THOMAS, D.; WAKE, D. A.; WEIJMANS, A.-M.; WESTFALL, K. B.; ZHANG, K. The Data Reduction Pipeline for the SDSS-IV MaNGA IFU Galaxy Survey. *Astrophysical Journal*, v. 152, n. 4, p. 83, out. 2016.
- LEE, J. H.; KIM, S. C.; REE, C. H.; KIM, M.; JEONG, H.; LEE, J. C.; KYEONG, J. Hubble Space Telescope Pixel Analysis of the Interacting S0 Galaxy NGC 5195 (M51B). *Astrophysical Journal*, v. 754, n. 2, p. 80, Aug 2012.
- MANGA. 2020. Disponível em: <https://dr15.sdss.org/sas/dr15/manga/spectro/redux/v2_4_3/>.
- MIRABEL, I. F.; LUTZ, D.; MAZA, J. The Superantennae. *Astronomy and Astrophysics*, v. 243, p. 367, Mar 1991.
- NEWMAN, S. F.; GRIFFIN, K. S.; GENZEL, R.; DAVIES, R.; FÖRSTER-SCHREIBER, N. M.; TACCONI, L. J.; KURK, J.; WUYTS, S.; GENEL, S.; LILLY, S. J.; RENZINI, A.; BOUCHÉ, N.; BURKERT, A.; CRESCI, G.; BUSCHKAMP, P.; CAROLLO, C. M.; EISENHAUER, F.; HICKS, E.; LUTZ, D.; MANCINI, C.; NAAB, T.; PENG, Y.; VERGANI, D. Shocked Superwinds from the $z \sim 2$ Clumpy Star-forming Galaxy, ZC406690. *Astrophysical Journal*, v. 752, n. 2, p. 111, Jun 2012.
- O'DELL, C. R.; CASTANEDA, H. O. An Astrophysical Method of Using HII Complexes as Distance Determinants. In: *Bulletin of the AAS*. [S.l.: s.n.], 1984. v. 16, p. 513.
- OEY, M. S.; KENNICUTT R. C., J. Abundances of H II Regions in Early-Type Spiral Galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 411, p. 137, Jul 1993.
- PIPE3D. 2020. Disponível em: <https://data.sdss.org/datamodel/files/MANGA_PIPE3D/MANGADRP_VER/PIPE3D_VER/manga.Pipe3D.html>.
- PUECH, M.; FLORES, H.; RODRIGUES, M.; HAMMER, F.; YANG, Y. B. Time-average properties of $z \sim 0.6$ major mergers: mergers significantly scatter high- z scaling relations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 488, n. 1, p. 876–893, set. 2019.
- RAMSBOTTOM, C. A.; BELL, K. L.; STAFFORD, R. P. Effective Collision Strengths for Electron Impact Excitation of Singly Ionized Sulfur. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, v. 63, p. 57, jan. 1996.
- RICH, J. A.; KEWLEY, L. J.; DOPITA, M. A. Galaxy-wide Shocks in Late-merger Stage Luminous Infrared Galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 734, n. 2, p. 87, Jun 2011.
- RICH, J. A.; TORREY, P.; KEWLEY, L. J.; DOPITA, M. A.; RUPKE, D. S. N. An Integral Field Study of Abundance Gradients in nearby Luminous Infrared Galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 753, n. 1, p. 5, Jul 2012.

- ROSA, D. A.; DORS, O. L.; KRABBE, A. C.; HÄGELE, G. F.; CARDACI, M. V.; PASTORIZA, M. G.; RODRIGUES, I.; WINGE, C. Interaction effects on galaxy pairs with Gemini/GMOS - II: oxygen abundance gradients. *MNRAS*, v. 444, n. 3, p. 2005–2021, nov. 2014.
- SÁNCHEZ, S. F.; PÉREZ, E.; SÁNCHEZ-BLÁZQUEZ, P.; GONZÁLEZ, J. J.; ROSÁLES-ORTEGA, F. F.; CANO-DÍAZ, M.; LÓPEZ-COBÁ, C.; MARINO, R. A.; PAZ, A. Gil de; MOLLÁ, M.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, A. R.; ASCASIBAR, Y.; BARRERA-BALLESTEROS, J. Pipe3D, a pipeline to analyze Integral Field Spectroscopy Data: I. New fitting philosophy of FIT3D. *RMxAA*, v. 52, p. 21–53, abr. 2016.
- SÁNCHEZ, S. F.; PÉREZ, E.; SÁNCHEZ-BLÁZQUEZ, P.; GARCÍA-BENITO, R.; IBARRA-MEDE, H. J.; GONZÁLEZ, J. J.; ROSALES-ORTEGA, F. F.; SÁNCHEZ-MENGUIANO, L.; ASCASIBAR, Y.; BITSAKIS, T.; LAW, D.; CANO-DÍAZ, M.; LÓPEZ-COBÁ, C.; MARINO, R. A.; PAZ, A. Gil de; LÓPEZ-SÁNCHEZ, A. R.; BARRERA-BALLESTEROS, J.; GALBANY, L.; MAST, D.; ABRIL-MELGAREJO, V.; ROMAN-LOPES, A. Pipe3D, a pipeline to analyze Integral Field Spectroscopy Data: II. Analysis sequence and CALIFA dataproducts. *RMxAA*, v. 52, p. 171–220, abr. 2016.
- SCUDDER, J. M.; ELLISON, S. L.; TORREY, P.; PATTON, D. R.; MENDEL, J. T. Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - V. Tracing changes in star formation rate and metallicity out to separations of 80 kpc. *Monthly Notices of the RAS*, v. 426, n. 1, p. 549–565, Oct 2012.
- SDSS. 2019. Disponível em: <https://www.sdss.org/dr16/data_access/value-added-catalogs/?vac_id=gema-vac:galaxy-environment-for-manga-value-added-catalog>.
- SDSS. 2020. Disponível em: <https://www.sdss.org/bundle_ferrule/>.
- SDSS. 2020. Disponível em: <https://www.sdss.org/feature_manga_2/>.
- SOTO, K. T.; MARTIN, C. L. Gas Excitation in ULIRGs: Maps of Diagnostic Emission-line Ratios in Space and Velocity. *Astrophysical Journal, Supplement*, v. 203, n. 1, p. 3, Nov 2012.
- STANGHELLINI, L.; KALER, J. B. Electron Densities in Planetary Nebulae. *Astrophysical Journal*, v. 343, p. 811, ago. 1989.
- TINSLEY, B. M.; LARSON, R. B. Chemical evolution and the formation of galactic disks. *Astrophysical Journal*, v. 221, p. 554–561, Apr 1978.
- VEILLEUX, S.; CECIL, G.; BLAND-HAWTHORN, J. Galactic Winds. *Annual Review of Astron and Astrophys*, v. 43, n. 1, p. 769–826, Sep 2005.
- VERNER, D. A.; VERNER, E. M.; FERLAND, G. J. Atomic Data for Permitted Resonance Lines of Atoms and Ions from H to Si, and S, Ar, Ca, and Fe. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, v. 64, p. 1, jan. 1996.
- VIOLINO, G.; ELLISON, S. L.; SARGENT, M.; COPPIN, K. E. K.; SCUDDER, J. M.; MENDEL, T. J.; SAINTONGE, A. Galaxy pairs in the SDSS - XIII. The connection between enhanced star formation and molecular gas properties in galaxy mergers. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 476, n. 2, p. 2591–2604, maio 2018.

WANG, H.; MO, H. J.; YANG, X.; ZHANG, Y.; SHI, J.; JING, Y. P.; LIU, C.; LI, S.; KANG, X.; GAO, Y. ELUCID - Exploring the Local Universe with ReConstructed Initial Density Field III: Constrained Simulation in the SDSS Volume. *ApJ*, v. 831, n. 2, p. 164, nov. 2016.

WRIGHT, G. S.; JOSEPH, R. D.; WADE, R.; GRAHAM, J. R.; GATLEY, I. Near infrared spectroscopy of galaxies. *Rutherford Appleton Laboratory Report*, v. 86, p. 52–59, Jan 1985.

A Amostra de Objetos

Placa	IFU	R.A (deg)	Decl. (deg)	Δv (km/s)	r_p (kpc)	z	D (Mpc)	Massa (M/M_\odot)	Luminosidade (L/L_\odot bol)
8078	3703	42,3874	-0,7844	252,6	61,9	0,0236	98,9811	1,90E+09	4.70E+09
8078	3704	42,228	-0,9667	127,3	54,2	0,023	98,9249	1,85E+09	4.44E+09
8078	6104	42,7394	0,3694	95,7	26	0,0438	192,3158	6,70E+09	1.74E+10
8080	12704	49,3334	-0,0765	196,5	53,7	0,0228	94,5632	1,48E+09	4.27E+09
8081	3704	49,8214	-0,9696	64,3	53,5	0,0538	237,6886	7,08E+09	6.92E+11
8084	9101	50,7135	0,1396	2,8	32,1	0,0228	98,8917	1,41E+09	1.75E+09
8084	9102	51,8784	-1,1278	47,3	69,8	0,0259	112,0644	4,68E+09	4.80E+09
8141	9102	119,6116	44,0462	254,9	48,6	0,0496	219,5575	9,97E+09	2.41E+10
8149	6103	119,1742	28,3719	139,4	50,7	0,0217	94,5621	4,26E+08	1.83E+09
8153	6102	39,6055	-0,1884	0,8	55,4	0,0267	112,1467	5,55E+09	1.51E+10
8154	12704	43,5607	1,0291	175,7	71	0,0675	297,9423	7,09E+10	1.02E+11
8155	12703	53,7801	-0,8772	61,8	36,5	0,0369	160,8278	1,40E+09	4.81E+09
8241	6101	127,0485	17,3747	12,2	43,7	0,0209	90,2255	5,01E+08	1.32E+09
8250	3704	140,2106	42,2889	165,9	48,3	0,0413	174,3927	3,87E+09	6.26E+09
8254	12705	164,6264	44,0434	260,6	51,4	0,0579	256,0931	2,94E+10	3.32E+10
8255	3702	165,8108	45,2178	28,9	37,1	0,0212	90,193	8,32E+08	1.72E+09
8312	12701	245,8423	39,2153	192,6	65,1	0,0294	125,366	2,25E+10	7.80E+09
8320	3702	205,2893	23,2779	295,2	14	0,0264	116,5137	3,70E+09	5.63E+09
8332	12701	206,7099	42,6513	131,1	63,2	0,0283	120,9186	6,06E+09	1.89E+10
8335	12702	215,4875	40,1958	13,1	52,2	0,0188	81,4445	1,32E+09	3.33E+09
8440	6102	135,7201	40,3467	29,9	63,6	0,0415	178,8422	1,46E+09	6.48E+09
8454	12702	153,049	45,1422	28,2	51,4	0,0764	340,1033	3,15E+10	5.85E+10
8455	12705	157,2296	39,8948	68,1	27,4	0,0443	192,3371	7,92E+09	1.87E+10
8455	3701	157,1795	39,8389	301,6	38,6	0,0293	125,3277	6,63E+09	2.05E+10
8455	6101	156,3967	39,6737	50,4	64,3	0,0234	98,9332	4,12E+09	5.04E+09
8458	12702	147,6049	44,2574	175,9	62,9	0,0152	64,1551	9,29E+08	2.44E+09
8458	3702	147,5625	45,9573	5,3	53,5	0,0249	107,6717	3,32E+09	2.80E+10
8465	12704	198,1419	48,3666	82	59,4	0,0558	246,8447	2,17E+10	2.67E+10
8485	3704	235,5806	47,9435	103,7	15,9	0,0375	160,8654	2,37E+09	5.07E+09
8549	6104	244,4016	46,082	125,2	27,2	0,0192	81,506	1,98E+09	3.76E+09
8549	9102	241,2926	45,4947	72,1	69,6	0,0429	187,7283	4,69E+09	1.69E+10
8550	12703	247,6744	40,5294	73,7	58,9	0,0301	129,7005	1,39E+10	1.23E+10
8551	12701	231,9802	45,6753	74,6	36,8	0,0643	283,8958	2,43E+10	3.55E+10
8567	9101	119,2845	47,7656	23,6	71,2	0,0228	98,8964	1,31E+09	1.93E+09
8601	12703	247,5741	40,5986	112,1	63	0,0289	134,1158	8,46E+09	1.31E+10
8602	9101	245,5011	38,9151	35,1	39,4	0,0172	72,7929	1,75E+09	2.64E+09
8624	12704	261,9601	60,0803	76,8	35,3	0,0278	120,8745	7,66E+09	6.00E+09
8625	3703	259,3763	57,0681	22,8	41,1	0,028	120,8829	3,86E+09	6.92E+09
8626	9101	262,4683	56,8263	161,7	46,4	0,0301	129,7372	1,28E+10	2.03E+10
8655	6102	358,066	0,103	339,6	34	0,0229	98,9094	9,23E+08	1.49E+09
8715	12704	121,1725	50,7185	31	30,6	0,0227	98,8961	5,83E+08	2.18E+09
8726	12705	117,3286	21,8038	182	51,8	0,024	103,3463	1,14E+09	8.86E+08
8931	12703	194,8269	27,5135	149,7	33,9	0,0202	85,812	1,24E+09	1.94E+09
8932	12705	194,3456	26,9877	336,6	69,1	0,0267	120,8533	1,66E+09	
8932	6103	194,099	27,234	446,2	65,3	0,0202	85,8229	1,34E+09	1.66E+09
8934	12703	196,7842	28,6333	125	52,2	0,0393	169,8243	3,03E+09	6.10E+09
8934	9102	196,563	28,7122	331,4	45,3	0,0185	81,5092	7,14E+08	8.25E+08
8935	9102	196,0426	29,0154	199,3	52,1	0,0228	94,5582	4,20E+09	5.34E+09
8946	6103	169,3579	47,8542	27,7	58,8	0,0157	68,4253	7,08E+08	2.40E+09
8948	3703	165,8333	50,7553	177,3	44,7	0,0215	90,1625	1,08E+09	1.65E+09

Placa	IFU	R.A (deg)	Decl. (deg)	Δv (km/s)	r_p (kpc)	z	D (Mpc)	Massa (M/M_\odot)	Luminosidade (L/L_\odot bol)
8984	12704	203,9377	27,8676	232,9	47,4	0,027	116,4846	9,21E+09	1.35E+10
8987	3701	136,2499	28,3477	11,7	58,3	0,0486	210,4922	5,93E+09	1.51E+10
8999	6101	164,0005	49,9529	170,6	56,4	0,0231	98,9728	1,64E+09	2.01E+09
9024	12705	223,8675	32,84	68,4	66,9	0,0602	265,3951	4,95E+10	5.69E+10
9035	6104	236,4987	45,7313	100,2	31,3	0,0379	160,9214	1,90E+09	5.18E+09
9042	12701	232,4334	27,112	227	26,6	0,0445	196,8397	6,68E+09	6.44E+09
9044	9101	229,2775	31,3482	340,9	63,4	0,0601	265,3913	2,59E+10	3.64E+10
9050	9101	245,9984	21,795	29,7	60,2	0,0321	138,5769	1,77E+10	1.74E+10
9095	12705	28,7483	13,483	298,4	49,6	0,0478	90,2033	1,13E+10	1.58E+09
9500	3702	131,9236	25,8882	68,5	12,2	0,0218	90,2138	6,92E+08	8.74E+08
9510	12702	125,7037	27,7153	12,7	54,7	0,0198	85,7931	8,01E+08	3.73E+09
9863	6102	194,405	28,0404	310,9	60,3	0,0225	90,2218	1,17E+09	3.75E+08

Tabela 3 – Coluna 1: número da placa do MaNGA. Coluna 2: ID do IFU do MaNGA. Coluna 3: Ascensão reta em graus. Coluna 4: declinação em graus. Coluna 5: Δv km/s. Coluna 6: r_p kpc. Coluna 7: z . Coluna 8: distância ao objeto em Mpc. Coluna 9: Massa da galáxia. Coluna 10: Luminosidade bolométrica.