

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

**ABUNDÂNCIA QUÍMICA DO OXIGÊNIO DA
GALÁXIA LINER UGC 4805 COM O SDSS IV
MaNGA**

São José dos Campos, SP

2019

Celso Benedito de Oliveira Junior

ABUNDÂNCIA QUÍMICA DO OXIGÊNIO DA GALÁXIA LINER UGC 4805 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

2019

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA

Ficha catalográfica

Oliveira Junior, Celso Benedito de
Abundância química do oxigênio da galáxia Liner UGC 4805 com
SDSS IV MANGA / Celso Benedito de Oliveira Junior; orientadora,
Ângela Cristina Krabbe. - São José dos Campos, SP, 2019.
1 CD-ROM, 75 p.

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

Inclui referências

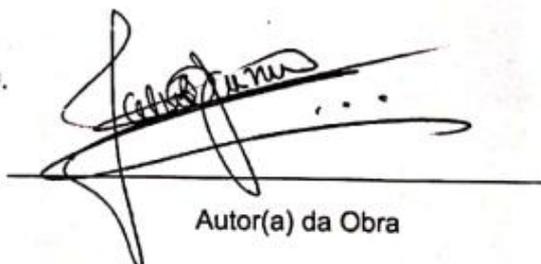
1. Física e Astronomia. 2. AGNs. 3. LINERs. 4. Abundância
química. 5. Calibradores. I. Krabbe, Ângela Cristina, orient. II.
Universidade do Vale do Paraíba. Programa de Pós-Graduação em
Física e Astronomia. III. Título.

Eu, Celso Benedito de Oliveira Junior, 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, 7 de Novembro de 2019.



Autor(a) da Obra

Data da defesa: 27 / 06 / 2019

CELSO BENEDITO DE OLIVEIRA JUNIOR

**“ABUNDÂNCIA QUÍMICA DO OXIGÊNIO DA GALÁXIA LINER UGC 4805 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. OLI LUIZ DORS JUNIOR _____

PROF.^a DR.^a ANGELA CRISTINA KRABBE _____

PROF.^a DR.^a MONICA VIVIANA CARDACI - UNLP _____

Prof. Dr. Leandro José Raniero
Diretor do IP&D – Univap
São José dos Campos, 27 de junho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à:

Deus, minha maior riqueza sem a qual eu nada seria.

Meus pais, que me possibilitaram sempre alcançar meus objetivos, me ajudando incondicionalmente.

Dayane, fiel amiga e confidente, que sempre escutou minhas lamentações, desabafos e alegrias, me incentivando e "puxando minha orelha" nos momentos oportunos.

Dani, pelo companheirismo e ajuda nas disciplinas mais difíceis que já enfrentei ao longo dos anos de escola, em especial pelas boas conversas e risadas!

Aos bons amigos que me ajudaram nessa caminhada, em especial àqueles com quem hoje não divido mais sala ou convivo, todavia são impescindíveis em minha vida e de alguma forma mudaram o rumo desta: Arthur, prof. Carlos e Dr. Paulo (professores que incentivaram a continuidade dos meus estudos e me ajudaram na seleção do Mestrado. Em especial ao Dr. Paulo, que mais do que isso, me ensinou que Física é legal e me fez amar essa área), prof. Walas. Aos amigos de trabalho que "abandonei" (Suzana, Dalva, Karim, Japonês e Amintas) buscando realizar esse sonho: valeu a pena, consegui!!

A Nayra, pelas valiosas contribuições com o código python. Obrigado pela paciência em me ensinar a programar! Agradeço também ao Dr. Igor Zinchenko por gentilmente ter cedido as medições dos fluxos de linhas utilizados para desenvolvimento desta pesquisa.

Não menos importante, registro aqui meus agradecimentos à Prof^a. Ângela, minha orientadora que desde o início buscou meu crescimento e me ajudou a tornar realidade essa pesquisa. Agradeço também ao prof. Oli que sempre aconselhou e deu dicas valiosas, sem as quais o caminho teria sido muito mais árduo. Aproveito e estendo os agradecimentos a todos os funcionários da UNIVAP que me ajudaram direta ou indiretamente a concluir o Mestrado.

Por fim, agradeço à CAPES pela bolsa de estudo, sem a qual nada disso seria possível.

RESUMO

Determinações da abundância química de núcleos ativos de galáxias (agns) e de regiões de formação estelar (SFs) são essenciais para entender a evolução química de galáxias e, por consequência, a evolução química do universo. O método mais confiável para a determinação da abundância química do gás é o tão conhecido método- T_e ou método direto. Esse método se baseia em determinações da temperatura eletrônica da fase de gás de um objeto a partir de medidas de linhas de emissão aurorais, tais como as linhas [O III] λ 4363 e [N II] λ 5755, As quais são geralmente muito fracas em objetos com alta metalicidade e/ou baixa excitação. Quando não é possível medir linhas aurorais, pode-se utilizar métodos indiretos ou definidos por métodos de linhas fortes para calcular a metalicidade, geralmente traçada pela abundância do oxigênio. Portanto, a maioria desses métodos indiretos são propostos para regiões de formação estelar, enquanto que para a determinação de abundância química em agns são mais escassos na literatura. Galáxias com um baixa luminosidade em seu núcleo e com NLR com baixa ionização são classificadas como LINERs (do inglês *low ionization nuclear emission regions*). Essa classe de objetos aparece em cerca de 1/3 das galáxias do universo próximo e a classificação da fonte de ionização desses objetos ainda é um problema aberto na astronomia. Utilizando os dados do survey MANGA (*Mapping Nearby Galaxies At Apache Observatory*), que compreendem espectroscopia de campo integral em um intervalo de comprimento de onda de 3600 Å a 10000 Å, com uma resolução de $R \sim 2000$, investigou-se a abundância química da galáxia liner UGC 4805, através de nove calibrações, dentre os quais sete são voltados para regiões H II e duas são voltadas para regiões agn. a abundância média calculada foi $12+\log(O/H)_{R0} = 9,01$ e uma variação de aproximadamente 1 dex foi encontrada comparando-se os resultados obtidos a partir das nove calibrações.

Palavras-chave: AGNs; LINERs; abundância química; calibradores.

ABSTRACT

Determinations of the chemical abundance of active galaxy nuclei (AGN) and star-forming regions (SFs) are essential for understanding the chemical evolution of galaxies and, consequently, the chemical evolution of the universe. The most reliable method for determining the chemical abundance of gas is the well-known method- T_e and direct method. this method is based on determinations of an object's gas phase electronic temperature from measurements of auroral emission lines, such as the lines [O III] λ 4363 and [N II] λ 5755, which are generally very weak on objects with high metallicity and / or low excitation. When auroral lines cannot be measured, indirect or strong-line methods can be used to calculate metallicity, usually traced by the abundance of oxygen. Therefore, most of these indirect methods are proposed for star-forming regions, whereas for the determination of chemical abundance in agns are scarcer in the literature. Low-core galaxies with low-ionization nlrs are classified as liners (low ionization nuclear emission regions). This class of objects appears in about 1/3 of the galaxies in the near universe, and the classification of the ionization source of these objects is still an open problem in astronomy using MANGA (*Mapping Nearby Galaxies At Apache Observatory*), which comprise integral field spectroscopy over a wavelength range of 3600 Å TO 10000 Å, with a resolution of $R \sim 2000$, the chemical abundance of the galaxy liner UGC 4805 was investigated through nine calibrations, seven of which are directed to H II regions and two are for agn regions. the calculated average abundance was $12+\log(\text{O}/\text{H})_{R0} = 9,01$ and a variation of approximately 1 dex was found comparing the results obtained from the nine calibrations.

Keywords: AGNs; LINERs; chemical abundance; calibrators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Quasar 3C 273. Imagem nos filtros BV obtida com o telescópio Hubble com a camera WFPC2 (Wide Field and Planetary Camera 2).	16
Figura 2 – Imagem da rádio galáxia 3C 219 obtida do Very Large Array a 1.4 + 1.6 GHz com uma resolução espacial de 1.4 segundos de arco.	17
Figura 3 – Espectro da galáxia LINER NGC 4579	20
Figura 4 – Imagem da NGC 4594 mostra o brilho infravermelho registrado pelo Spitzer Space Telescope, combinado com o cores falsas capturadas pelo Hubble Space Telescope, no óptico.	20
Figura 5 – Espectro da região central de 30 Doradus.	22
Figura 6 – Painel esquerdo: imagem de um IFU com 127 fibras. Painel direito: uma das fibras mostrada em detalhe.	26
Figura 7 – O painel esquerdo mostra uma imagem nas bandas <i>gri</i> do SDSS do MaNGA de UGC 4805 com o campo de visão do IFU mostrado em rosa e o painel direito mostra um mapa do fluxo de $H\alpha$, em unidades de 10^{-17} erg/cm ² /Å/spaxel.	28
Figura 8 – Painel esquerdo: Diagrama diagnóstico BPT utilizando [O III]/ $H\beta$ versus [N II]/ $H\alpha$. A curva sólida preta representa o limite superior ocupado pelas regiões de formação estelar definida por Ke06 e a linha tracejada por Kauffmann et al. (2003) Ka03. A região entre Ke06 e Ka03 é denominada região composta (pontos pretos). Os pontos vermelhos representam a região de AGN e os pontos azuis a de formação estelar. Painel central: Diagrama diagnóstico [O III]/ $H\beta$ versus [S II]/ $H\alpha$. A linha tracejada, obtida por Ke06 separa as áreas tipicamente ocupadas por Seyferts e LINERs. A curva sólida de Ke06 separa a região de formação estelar (pontos azuis) de AGN (pontos vermelhos). Painel direito: É mostrado a distribuição das regiões da galáxia UGC4805 de acordo com o digrama [O III]/ $H\beta$ versus [N II]/ $H\alpha$ (painel esquerdo).	29
Figura 9 – Painel superior: Espectro observado (em preto) e espectro sintético (em vermelho) do <i>spaxel</i> central de UGC 4805. Painel inferior: Espectro de emissão pura	31
Figura 10 – Mapa do coeficiente de extinção interestelar, $c(H\beta)$, calculado para a galáxia UGC 4805, comparando-se a razão de linha $H\alpha / H\beta$ com a razão teórica, dada por Hummer e Storey (1987)	33

- Figura 11 – Abundância de oxigênio em função do parâmetro R_{23} . Na figura é mostrada diferentes calibrações empíricas (representadas pelas curvas) que utilizam o R_{23} . As calibrações mostradas na figura são: EP84 de Edmunds e Pagel (1984), M91 de McGaugh (1991), P01 de Pilyugin (2001b), (KD02 + KK04) de (KEWLEY; DOPITA, 2002) e, N06 de Nagao, Maiolino e Marconi (2006). A área hachurada representa a região onde há mudança da abundância do ramo inferior para ramo superior. 35
- Figura 12 – Abundância de oxigênio versus o calibrador $N2$. A linha sólida negra representa a relação linear dada pela equação $12+\log(O/H) = 9,12 + 0,73 \times N2$. O coeficiente de correlação obtido é 0,85. Os círculos com cruzes representam as metalicidades obtidas a partir dos modelos de fotoionização. Os demais símbolos correspondem às metalicidades obtidas por outros autores. Para maiores informações, veja Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002). 38
- Figura 13 – Abundância de oxigênio versus $O3N2$. Quadrados fechados são abundâncias estimadas via modelos de fotoionização. Triângulos abertos representam galáxias espirais e irregulares. Quadrados abertos representam galáxias compactas azuis. A linha tracejada larga é a melhor relação linear, dada pela equação 3.10 e válida somente quando $O3N2 < 1,9$. As linhas tracejadas curtas representam a variação de $(O/H) \pm 0,25$, enquanto a linha tracejada horizontal representa a abundância solar. . 39
- Figura 14 – Comparação entre diferentes calibrações para determinação da abundância de oxigênio utilizando o parâmetro R_{23} . A linha sólida preta representa a calibração de Dors e Copetti (2005). Os quadrados fechados correspondem aos valores obtidos pelos modelos de Dors e Copetti (2005), enquanto os quadrados abertos representam a abundância de oxigênio determinada diretamente. 41
- Figura 15 – Figura adaptada de Pilyugin e Grebel (2016). Na esquerda é mostrado a abundância de oxigênio $(O/H)_R$ versus a abundância de O/H obtida pelo método direto. Os pontos cinzas são regiões H II individuais, enquanto os pontos pretos representam a abundância média dentro de 0,1 dex pelo método direto. A linha sólida mostra onde os valores $(O/H)_R$ é igual ao valor $(O/H)_{Te}$, enquanto a linha tracejada mostra a variação de 0,1 dex. Na direita é mostrado o histograma com a distribuição da diferença entre abundância estimada através da calibração de Pilyugin e Grebel (2016) e a abundância calculada pelo método direto. 43

Figura 16	– O painel esquerdo mostra $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ versus $[\text{O III}]/\text{H}\beta$. O painel da direita $\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha)$ versus $\log([\text{O III}]/[\text{O II}])$. Sobrepostas a essas figuras está a grade de modelos de fotoionização considerando o gás com densidade de 300 cm^{-3} e parâmetro de ionização variando entre $-4 \leq \log(U) \leq -2$	44
Figura 17	– Abundâncias de O/H determinadas pela equação 3.15 (painel superior) e equação 3.16 (painel inferior). Os símbolos fechados representam Seyferts 2 e, os símbolos abertos representam LINERs. Os triângulos representam as LINERs com assinatura de atividade estelar no núcleo. A linha representa a correlação entre a abundância obtida pelo calibrador e pelas extrapolações em regiões HII.	45
Figura 18	– Relação entre o logaritmo da metalicidade e o C43. As curvas representam os ajustes dos resultados dos modelos, representados por pontos, para distintos parâmetros de ionização. A região hachurada representa a transição entre ramo superior e inferior.	46
Figura 19	– $\log([\text{O III}]/[\text{O II}])$ versus $N2O2$. A linha sólida representa os modelos de fotoionização produzidos enquanto as linhas tracejadas representam as curvas de parâmetros de iso-ionização. Os pontos negros são os objetos da amostra.	47
Figura 20	– (Z/Z_{\odot}) vs $O2N2$. Os pontos representam a metalicidade estimada a partir dos modelos de fotoionização, enquanto a curva representa a calibração obtida.	48
Figura 21	– Comparação entre as metalicidades derivadas a partir da calibração de Castro et al. (2017) e Storchi-Bergmann et al. (1998). No painel superior é mostrada a diferença entre as metalicidades estimadas, que é da ordem de $0,02 \pm 0,48$. No painel inferior são plotados os objetos e a relação entre metalicidade obtidas utilizando-se os dois calibradores.	49
Figura 22	– Mapa 2D da abundância (painel esquerdo) e perfil radial (painel direito) de UGC 4805 usando a calibração de Edmunds e Pagel (1984).	52
Figura 23	– Histograma da distribuição da abundância de oxigênio de O/H, obtidos da calibração de Edmunds e Pagel (1984).	53
Figura 24	– Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de McCall, Rybski e Shields (1985)	54
Figura 25	– Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de McCall, Rybski e Shields (1985)	54
Figura 26	– Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)	55
Figura 27	– Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)	56

Figura 28 –Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)	57
Figura 29 –Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)	57
Figura 30 –Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Pettini e Pagel (2004)	58
Figura 31 –Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Pettini e Pagel (2004)	59
Figura 32 –Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Dors e Copetti (2005)	59
Figura 33 –Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Dors e Copetti (2005).	60
Figura 34 –Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Pilyugin e Grebel (2016)	61
Figura 35 –Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Pilyugin e Grebel (2016)	61
Figura 36 –Histogramas da distribuição da abundância de O/H, obtidos para todas as calibrações de regiões H II	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de UGC 4805 e das observações. Os dados da galáxia foram extraídos do NED	30
Tabela 2 – Intensidades das linhas corrigidas pela extinção interestelar $I(\lambda)$, para a região nuclear de UGC 4805.	62
Tabela 3 – Tabela resumo	63

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AGN	<i>Active Galactic Nuclei</i>
BNSM	Buraco Negro Supermassivo
LINER	<i>Low Ionization Nuclear Emission Region</i>
BLR	<i>Broad Line Region</i>
NLR	<i>Narrow Line Region</i>
MaNGA	<i>Mapping Nearby Galaxies at Apache Observatory</i>
IFU	<i>Integral Field Unit</i>
FWHM	<i>Full Width at Half Maximum</i>

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Galáxias de Núcleo Ativos	14
1.2	Classificação de Núcleo Ativo de Galáxias	14
1.2.1	Galáxias Seyfert	15
1.2.2	Quasares	15
1.2.3	Rádio-Galáxias	16
1.2.4	LINERs	17
1.3	Determinação de abundância química em galáxias	20
1.3.1	Método direto	21
1.3.2	Métodos Indiretos	23
1.4	Motivação	24
1.5	Objetivos	25
2	Dados	26
2.1	MaNGA	26
2.2	Galáxia LINER UGC 4805	27
3	Metodologia	31
3.1	Síntese de população estelar e medições das linhas de emissão	31
3.2	Correção por avermelhamento	32
3.3	Determinação da abundância de O/H	33
3.3.1	Calibradores de abundância para regiões H II	34
3.3.2	Calibradores de abundância para AGNs	43
3.4	Extrapolação do gradiente	49
4	Resultados e discussões	51
4.1	Abundância de O/H para as regiões H II do disco e método de extrapolação	51
4.1.1	Calibração de Edmunds e Pagel (1984)	51
4.1.2	Calibração proposta por McCall, Rybski e Shields (1985)	53
4.1.3	Calibração proposta por Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)	55
4.1.4	Calibração proposta por Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)	56
4.1.5	Calibração proposta por Pettini e Pagel (2004)	58
4.1.6	Calibração proposta por Dors e Copetti (2005)	59
4.1.7	Calibração proposta por Pilyugin e Grebel (2016)	60
4.2	Calibração propostas para AGNs	62
4.2.1	Calibração proposta por Storchi-Bergmann et al. (1998)	62

4.2.2	Calibração proposta por Castro et al. (2017)	62
4.3	Análise dos resultados	62
5	Conclusões e perspectivas	66
	Referências	68

1 Introdução

1.1 Galáxias de Núcleo Ativos

Os primeiros estudos de galáxias tiveram início por volta do século XVIII. Thomas Wright supôs que as nebulosas que eram observadas no céu noturno eram sistemas semelhantes à Via Láctea. Até a década de 1920 o mistério das nebulosas ficou sem solução. Foi o astrônomo Edwin Hubble quem concluiu, corretamente, que algumas dessas nebulosas eram na verdade sistemas iguais à Via Láctea, mas não se tratavam do mesmo sistema, devido suas distâncias serem maiores do que o raio calculado da nossa galáxia. Essas nebulosas são hoje chamadas de galáxias. Uma galáxia é constituída por gás, poeira e estrelas, que se mantêm unidos devido a atração gravitacional mútua. Basicamente, ao se analisar o espectro desses objetos, fortes linhas de absorção são vistas, oriundas majoritariamente de atividade estelar.

Seyfert (1943) publicou um artigo apresentando um estudo de seis galáxias que se diferenciavam das galáxias até então observadas. Diferente destes objetos, que tinham sua radiação explicada por processos térmicos, as seis galáxias observadas por ele emitiam espectro com presença de fortes linhas de emissão, algo não explicável somente considerando-se processos térmicos oriundos de estrelas, como acontece em galáxias normais. Seyfert (1943) deu início ao estudo de uma nova classe de galáxias, que ficaram conhecidas como Núcleo Ativo de Galáxias (do inglês *Active Galactic Nuclei* - AGN).

AGNs são regiões compactas, cujo raio é da ordem de $r < 1$ pc (SCHNEIDER, 2014), onde a maior parte da energia emitida pela galáxia que os hospeda é produzida. A luminosidade produzida nessa região chega ser 10^4 vezes maior do que a de todo o restante da galáxia hospedeira. Um buraco negro supermassivo ($M \approx 10^6 M_{\odot}$) centrado no núcleo do AGN é o responsável pela produção de toda a energia observada (PADOVANI et al., 2017). Ao redor do buraco negro se forma um disco de acreção. A matéria que se encontra nesse disco, ao espiralar para dentro do buraco negro produz energia cinética e térmica (por fricção), visualizada em forma de radiação.

1.2 Classificação de Núcleo Ativo de Galáxias

Os AGNs podem ser classificados em diferentes grupos, de acordo com as características observadas de cada um. A seguir, as principais classes de AGNs são discutidas.

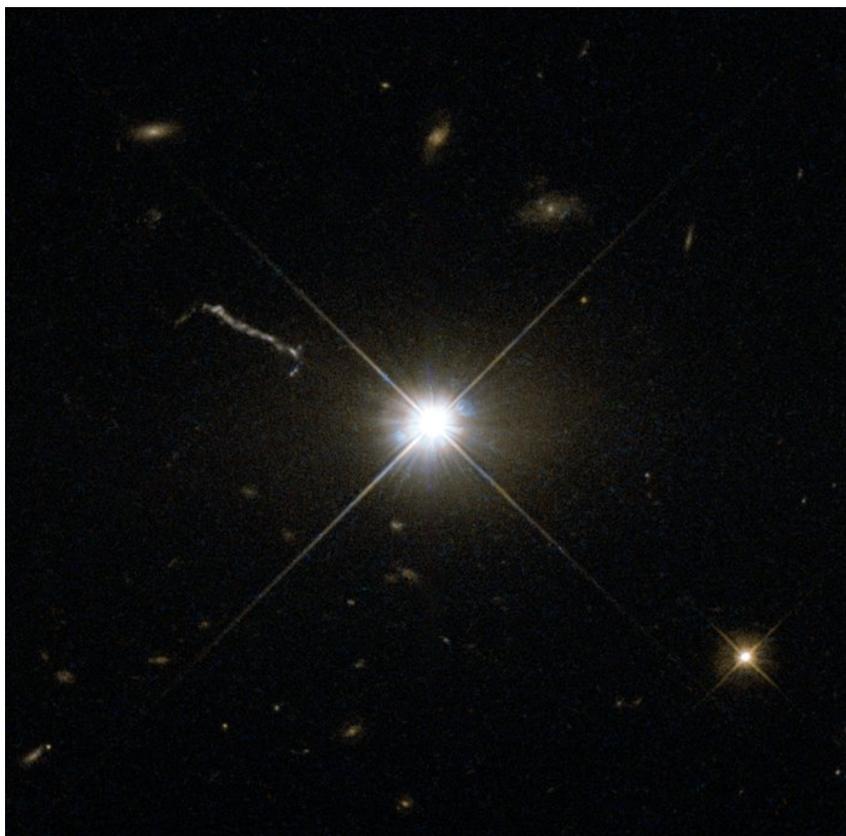
1.2.1 Galáxias Seyfert

Seyfert (1943) observou seis galáxias e percebeu que essas possuíam características distintas das demais galáxias. As galáxias Seyfert possuem núcleo muito brilhante, com luminosidade entre $10^{42} - 10^{45}$ erg/s (WOO; URRY, 2002). As linhas de emissão desses objetos são caracterizadas por elementos de alta ionização, como [Fe X] e [Si X]. Khachikian e Weedman (1974) dividiram essa classe de galáxias em dois grupos. As Seyferts tipo 1 apresentam em seus espectros linhas de emissão permitidas alargadas, enquanto as Seyferts tipo 2 apresentam somente linhas de emissão permitidas estreitas. A largura a meia altura, a FWHM (do inglês *Full Width Half Maximum*), de uma certa linha em uma Seyfert 1 é da ordem de 5000 Km/s (RODRIGUEZ-PASCUAL; MAS-HESSE; SANTOS-LEO, 1997; LAKICEVIC; OPOVIĆ; KOVAČEVIĆ-DOJČINOVIĆ, 2018), enquanto em uma Seyfert 2 essa largura é da ordem de centenas de Km/s.

1.2.2 Quasares

Os Quasares (do inglês *quasi-stellar radio source*) são os objetos mais distantes observados no Universo, chegando a *redshifts* maiores que 7 (MORTLOCK et al., 2011). Para serem observados a esta distância, esses objetos têm de emitir um alto fluxo de radiação e, a luminosidade característica desses núcleos é da ordem de $10^{45} - 10^{48}$ erg/s (WOO; URRY, 2002). A Figura 1 mostra uma imagem obtida nos filtros BV com o telescópio Hubble do quasar 3C 273. Nessa imagem nota-se que o quasar é observado como um objeto pontual, assemelhando-se a uma estrela, devido sua distância em relação ao ponto de observação.

Figura 1 – Quasar 3C 273. Imagem nos filtros BV obtida com o telescópio Hubble com a camera WFPC2 (Wide Field and Planetary Camera 2).

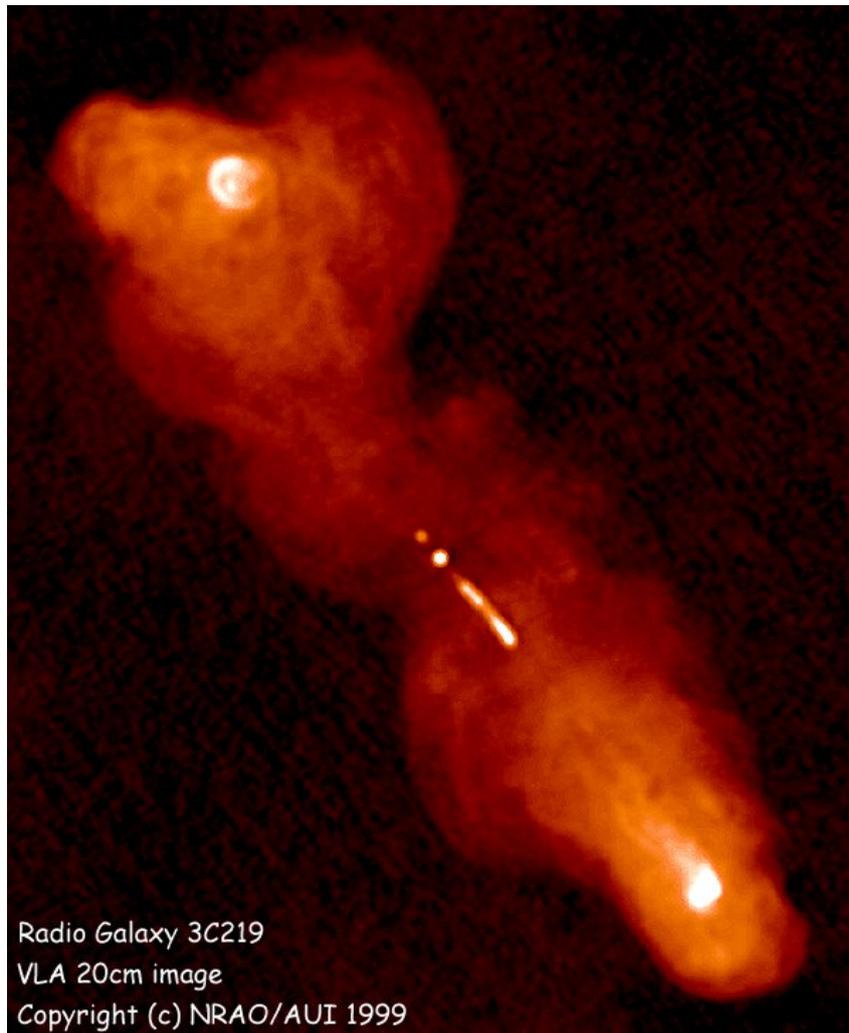


Fonte: (NASA, 2013)

1.2.3 Rádio-Galáxias

São galáxias cuja característica principal é a alta emissão em comprimento de onda em rádio. Em geral, essas galáxias possuem dois lóbulos emissores de rádio em cada lado, podendo chegar a 6 Mpc de distância do núcleo. Também podem ser divididas entre tipo 1 e tipo 2, sendo o primeiro grupo com linhas de emissão permitidas largas, enquanto o segundo possui apenas linhas de emissão estreitas. Na Figura 2 é mostrada uma imagem da rádio galáxia 3C 219, onde pode-se observar os lóbulos emissores de rádio saindo do centro da galáxia.

Figura 2 – Imagem da rádio galáxia 3C 219 obtida do Very Large Array a 1.4 + 1.6 GHz com uma resolução espacial de 1.4 segundos de arco.



Fonte: (NRAO, 1999)

1.2.4 LINERs

As regiões de emissão nuclear de baixa ionização, conhecidas como LINERs (do inglês *Low Ionization Nuclear Emission Regions*) são núcleos cujo espectro é caracterizado por linhas de emissão de baixa ionização, como por exemplo, $[O II]\lambda 3727$ e $[O I]\lambda 6300$. Heckman (1980) foi o primeiro a definir esse grupo de núcleos ativos, ao analisar uma amostra de 88 galáxias. Os objetos que compuseram a amostra analisada por Heckman (1980) foram selecionadas a partir de dois critérios. O primeiro e principal critério estipulado pelo autor foi quanto a magnitude integrada aparente das galáxias. Para assegurar que a amostra contemplasse uma ampla gama de tipos de galáxias para as quais já houvessem dados disponíveis na literatura, escolheu-se como magnitude de corte o índice $B_T < 12$. O segundo critério utilizado teve por objetivo facilitar as observações que seriam feitas com o VLA (do inglês *Very Large Array*), e portanto foram observados apenas objetos com

$\delta > 40^\circ$.

Foram realizadas observações tanto no óptico quanto em rádio. As observações no óptico foram realizadas no *Intensified Image Dissector Scanner* acoplado ao telescópio de 2,1m *Kitt Peak National Observatory*. Espectros no azul (3500 a 5300 Å) foram obtidos para todos os núcleos da amostra, exceto para oito galáxias cujos núcleos não eram bem definidos. Já no vermelho (5100 a 6900 Å) foram obtidos espectros para 22 núcleos com linhas de emissão detectáveis.

Heckman (1980) arbitrariamente definiu os núcleos LINERs como sendo objetos em que a intensidade de $[\text{O II}]\lambda 3727$ é um pouco mais forte que a intensidade de $[\text{O III}]\lambda 5007$ e, a intensidade de $[\text{O I}]\lambda 6300$ é ao menos um terço da intensidade de $[\text{O III}]\lambda 5007$. Tal definição arbitrária foi feita comparando-se os espectros dos núcleos LINERs com espectro típico de galáxias Seyfert.

Hoje, define-se uma galáxia como LINER por meio dos seguintes critérios

- $([\text{O III}]\lambda 5007/\text{H}\beta) < 3$;
- $([\text{O I}]\lambda 6300/\text{H}\alpha) > 0,05$;
- $([\text{S II}](\lambda 6716 + \lambda 6731)/\text{H}\alpha) > 0,4$ e
- $([\text{N II}]\lambda 6583/\text{H}\alpha) > 0,5$.

As LINERs são os AGNs de mais baixa luminosidade, cerca de $10^{39} - 10^{42}$ erg/s (HO, 2008) e aparecem em cerca de um terço das galáxias do universo próximo (NETZER, 2013). A fonte de ionização desses objetos ainda é alvo de muito debate, e diferentes mecanismos têm sido propostos.

Inicialmente, quando Heckman (1980) definiu essas galáxias, propôs que sua ionização se dava por meio de ondas de choque. Em 1983, Halpern e Steiner (1983) e Ferland e Netzer (1983) propuseram que as LINERs seriam ionizadas a partir de um AGN, sendo as LINERs e as galáxias Seyferts o mesmo fenômeno, em escalas diferentes. Nesses trabalhos foram reproduzidos os espectros de LINERs através de modelos de fotoionização com parâmetros de ionização¹ menores que os encontrados em galáxias Seyfert. Portanto, a diferença entre LINERs e outros AGNs consistiria na ordem de grandeza do parâmetro de ionização.

Ainda tentando explicar os mecanismos de ionização das LINERs, Terlevich e Melnick (1985) e Shields (1992) propuseram um novo modelo de ionização. Neste, as LINERs

¹ Grandeza definida como a razão entre densidade de fótons ionizantes e a densidade de átomos de hidrogênio

teriam como fonte ionizante estrelas quentes e starbursts². [Dopita et al. \(1996\)](#) aprimorou e reafirmou aquilo que já havia sido dito por [Heckman \(1980\)](#), ou seja, que a fonte ionizante é de fato ondas de choque. [Binette et al. \(1994\)](#) e [Taniguchi, Shioya e Murayama \(2000\)](#) propuseram que as LINERs são ionizadas por atividade estelar, todavia, atividade estelar de estrelas velhas que saíram do ramo assintótico das gigantes, as pós-AGB³. Para chegar a essa conclusão foram considerados modelos de fotoionização assumindo estrelas pós-AGB. Estas estrelas emitem um número de fótons Lyman que explica a emissão do gás ionizado observado, reproduzindo facilmente as linhas de emissão observadas.

Com o avanço dos instrumentos astronômicos, [Winkler \(2014\)](#) encontrou que esses objetos podem ter, na verdade, ionização composta, ou seja, mais de um mecanismo seria responsável pela ionização das LINERs. Essa é de fato uma explicação encontrada pelos trabalhos de [Yan e Blanton \(2012\)](#), [Singh et al. \(2013\)](#) e [Bremer et al. \(2013\)](#). Esses autores encontraram objetos com emissão tipo LINER que se estende para além da região nuclear, ou seja, há regiões HII com intensidades de linhas similares às emissões tipo LINER. [Yan e Blanton \(2012\)](#) encontraram que um AGN não é a fonte ionizante predominante das galáxias analisadas, uma vez que as intensidades das razões de linhas observadas podem ser reproduzidas através de modelos considerando uma distribuição estelar, como estrelas pós-AGB. Todavia, o parâmetro de ionização produzido considerando-se estrelas pós-AGB fica aquém do valor calculado, sendo necessário uma população estelar maior do que a estimada ou uma fonte secundária de ionização. Já [Singh et al. \(2013\)](#), encontraram que provavelmente a emissão LINER estendida observada na galáxia NGC 5850 é causada por estrelas p-AGB. Todavia, os cálculos para estimar a luminosidade bolométrica não excluem a presença de um AGN fraco, não podendo ser descartada essa hipótese, apontando para uma ionização composta do gás.

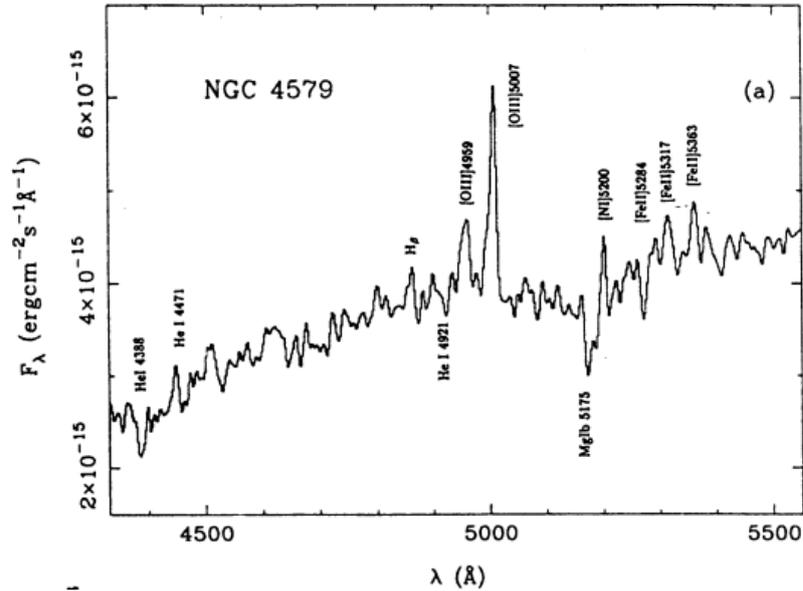
[Ricci, Steiner e Menezes \(2014a, 2014b, 2015\)](#) estudaram através da tomografia PCA ([HEYER; SCHLOERB, 1997](#); [STEINER et al., 2009](#); [RICCI; STEINER; MENEZES, 2011](#)) uma amostra de dez galáxias LINERs e verificaram que a maioria dessas (60%) tinham ionização explicada por atividade AGN. Apenas três eram explicadas por ionização através de estrelas pós-AGB e uma única galáxia podia ter seu gás ionizado por ondas de choque. Fato é que os mecanismos de ionização das galáxias ativas do tipo LINER ainda é alvo de intensa discussão.

Na Figura 3 tem-se um espectro da galáxia LINER NCG 4579, onde pode-se observar as linhas de emissão de baixa ionização, enquanto na Figura 4 têm-se a imagem no óptico da galáxia LINER NGC 4594 (Galáxia do Sombrero), onde a luminosidade do núcleo aparenta ser maior do que o brilho emitido pelo restante da galáxia.

² Galáxias com intenso processo de formação estelar

³ Estágio evolutivo de estrelas com massa de até $8 M_{\odot}$. Período anterior à evolução para nebulosa planetária. Essa fase evolutiva pode durar de 1000 a 10000 anos.

Figura 3 – Espectro da galáxia LINER NGC 4579



Fonte: Palacios et al. (1997)

Figura 4 – Imagem da NGC 4594 mostra o brilho infravermelho registrado pelo Spitzer Space Telescope, combinado com o cores falsas capturadas pelo Hubble Space Telescope, no óptico.



Fonte: Créditos: (NASA,)

1.3 Determinação de abundância química em galáxias

A determinação de abundância química de galáxias é fundamental para a compreensão dos processos de enriquecimento químico desses objetos e, por consequência, para compreensão da evolução química do Universo. A determinação de abundância dos elementos pesados (e.g. O, N, S) numa galáxia pode ser feita por meio de dois métodos, os

quais serão discutidos a seguir.

1.3.1 Método direto

O primeiro método é chamado método- T_e e consiste na derivação da abundância de um elemento através das medidas de suas linhas de emissão, temperatura e densidade eletrônica do gás (OSTERBROCK, 1989).

Esse método basicamente consiste em empregar a equação

$$\frac{N(X^{+i})}{N(H^+)} = \frac{I(\lambda)}{I(H\beta)} \times \frac{\epsilon(H\beta)}{\epsilon(\lambda)}, \quad (1.1)$$

sendo $N(X^{+i})$ a abundância de íon qualquer (X^{+i}) com relação à H^+ , $I(\lambda)$ a intensidade da linha de emissão do íon, $I(H\beta)$ a intensidade da linha de emissão de $H\beta$ e $\epsilon(\lambda)$ o coeficiente de emissão.

No caso das linhas excitadas colisionalmente, no limite de baixa densidade, o coeficiente de emissão é dado por

$$\epsilon(\lambda) = h\nu q_{\text{col}}(\lambda) = \frac{hc}{\lambda} \times 8,63 \times 10^{-6} \times \frac{\Omega}{\omega_1} \times T_e^{-0,5} \times e^{-\chi/kT_e}, \quad (1.2)$$

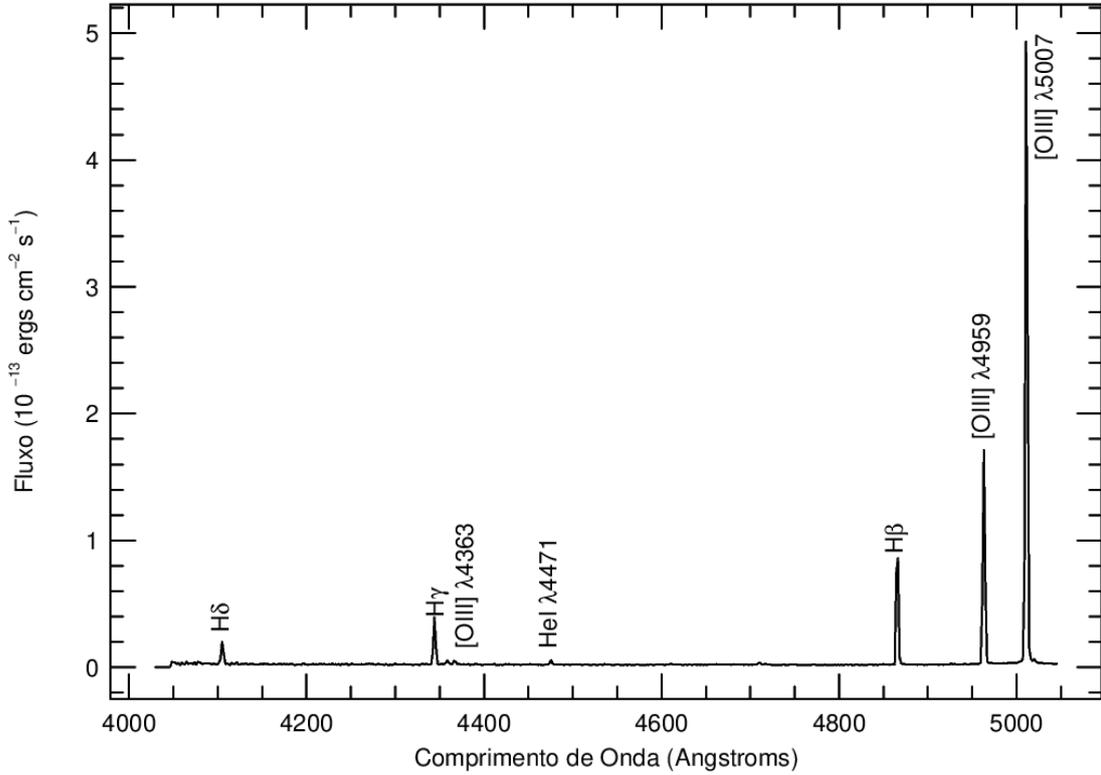
sendo h a constante de Planck, ν a frequência, q_{col} a taxa de transição colisional, Ω a força de colisão para as transições observadas, ω_1 o peso estatístico do nível inferior, χ a energia de excitação, k a constante de Boltzmann e T_e a temperatura eletrônica.

Como pode-se observar, o coeficiente de emissão para linhas excitadas colisionalmente depende fortemente da temperatura, sendo então indispensável o cálculo dessa para a determinação da abundância iônica a partir de linhas de emissão proibidas.

A temperatura eletrônica pode ser estimada a partir das razões $[O \text{ III}](\lambda 4959 + \lambda 5007)/\lambda 4363$ e $[N \text{ II}](\lambda 6548 + \lambda 6884)/\lambda 5755$, uma vez que as taxas relativas de excitação para o nível superior e inferior dependem fortemente da temperatura. Entretanto, as linhas $[O \text{ III}] \lambda 4363$ e $[N \text{ II}] \lambda 5755$ são geralmente muito fracas em objetos de alta metalicidade e/ou baixa excitação.

A figura 5 mostra um espectro observado na região central de 30 Doradus, uma região H II localizada na Grande Nuvem de Magalhães (KRABBE, 2001). Para comparação, note a intensidade da linha $[O \text{ III}] \lambda 5007$ e $[O \text{ III}] \lambda 4363$.

Figura 5 – Espectro da região central de 30 Doradus.



Fonte: [Krabbe \(2001\)](#)

[Hagele et al. \(2008\)](#) deduziram a partir da tarefa Temden do IRAF⁴ funções de ajuste para determinar a temperatura eletrônica, a densidade eletrônica N_e e a abundância do gás ionizado. As temperaturas eletrônicas correspondentes às estruturas de ionização são designadas por t_3 e t_2 , para as zonas do O^{++} e O^+ , respectivamente, e são dadas por

$$t_3 = 0,8254 - 0,0002415 \times R_{\text{O}3} + \frac{47,77}{R_{\text{O}3}} \quad (1.3)$$

e

$$t_2 = 0,23 + 0,0017 \times R_{\text{O}2} + \frac{38,3}{R_{\text{O}2}} \quad (1.4)$$

sendo $R_{\text{O}3} = [\text{O III}](\lambda 4959 + \lambda 5007)/\lambda 4363$ e $R_{\text{O}2} = [\text{O II}]\lambda 3727/(\lambda 7319 + \lambda 7330)$. Essas funções, em unidades de 10^4 K, são válidas para um regime de 7000 and 23000 K.

As equações das abundâncias iônicas do oxigênio derivadas por [Hagele et al. \(2008\)](#)

⁴ Image Reduction and Analysis Facility, distributed by NOAO, operated by AURA, Inc., under agreement with NSF.

são dadas por

$$12 + \log\left(\frac{\text{O}^{++}}{\text{H}^+}\right) = \log\left(\frac{I(4959) + I(5007)}{I(H\beta)}\right) + 6,144 + \frac{1,251}{t_3} - 0,55 \times \log t_3 \quad (1.5)$$

$$12 + \log\left(\frac{\text{O}^+}{\text{H}^+}\right) = \log\left(\frac{I(3727)}{I(H\beta)}\right) + 5,992 + \frac{1,583}{t_2} - 0,681 \times \log t_2 + \log(1 + 2,3n_e) \quad (1.6)$$

sendo $n_e = 10^{-4}N_e$.

A abundância total de oxigênio é dada pela soma das abundâncias iônicas calculadas a partir das equações 1.5. Nota-se então que para cálculo da abundância total de oxigênio é necessária a determinação da temperatura (assim como já evidenciado na equação 1.2) e também da densidade eletrônica, uma vez que estes parâmetros são empregados na determinação da abundância iônica do oxigênio. Diante da dificuldade de se determinar parâmetros essenciais para estimar a abundância de oxigênio, métodos indiretos podem ser empregados para tal estimativa.

Ainda, [Dors et al. \(2015\)](#) mostraram que o método- T_e não funciona para determinar a abundância química em AGNs, uma vez que as temperaturas são bem mais elevadas do que se supõem, devido a existência de choques de gás e, portanto, métodos indiretos são mais indicados para AGNs.

1.3.2 Métodos Indiretos

Quando linhas sensíveis à temperatura não são medidas (como ocorre em galáxias distantes e em objetos com baixa excitação), utiliza-se um método alternativo para estimar a abundância de um dado elemento. Esse método alternativo consiste em estabelecer uma calibração entre a abundância de um determinado elemento e medidas de razões de linhas mais proeminentes no espectro.

A calibração de linhas de emissão fortes em função da abundância de oxigênio, que é um bom traçador de metalicidade, pode ser obtida de três formas, a seguir.

- Calibração Teórica: consiste no uso de modelos de fotoionização para obtenção de uma relação entre a abundância de um elemento e uma dada razão de linha de emissão ([KEWLEY; DOPITA, 2002](#)).
- Calibração Empírica: Utiliza-se a abundância de um dado elemento obtida pelo método direto e de razões de intensidades de linhas de emissão observadas ([Pilyugin 2001b, 2001a](#)).

- Calibração Híbrida: Consiste na utilização dos dois métodos anteriores. Assumindo para regimes de altas metalicidades os resultados preditos por modelos de fotoionização e para regimes de baixa metalicidade assume-se os resultados obtidos pelo método direto (PETTINI; PAGEL, 2004).

No trabalho pioneiro de Pagel et al. (1979), foi proposto o primeiro calibrador para a determinação de abundância de oxigênio em regiões H II, o índice R_{23} . Desde então, inúmeros trabalhos têm sido dedicados para a determinação de abundância química em regiões de formação estelar, nos quais novos calibradores têm sido desenvolvidos e/ou recalibrados, como por exemplo em Alloin et al. (1979), Edmunds e Pagel (1984), McCall, Rybski e Shields (1985), McGaugh (1991), Storchi-Bergmann, Calzetti e Kinney (1994), Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994), Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002), Dors e Copetti (2005), Pettini e Pagel (2004).

Por outro lado, métodos indiretos para a determinação de abundância química em AGNs são mais escassos na literatura. De fato, as únicas calibrações desenvolvidas para essa classe de objetos foram as de Storchi-Bergmann et al. (1998), Dors et al. (2014) e Castro et al. (2017) para regiões de linhas estreitas (do inglês *Narrow Line Region* NLRs) de AGNs e para as galáxias tipo Seyferts 2. Storchi-Bergmann et al. (1998), por exemplo, investigaram calibrações para a NLR de AGNs em termos de três razões de linhas de emissão, $[\text{O III}] \lambda \lambda 4959, 5007/\text{H}\beta$, $[\text{N II}] \lambda \lambda 6548, 6584/\text{H}\alpha$ e $[\text{O II}] \lambda 3727/[\text{O III}] \lambda \lambda 4959, 5007$. No entanto, essas calibrações parecem funcionar bem para as galáxias Seyfert do tipo 2, porém não para as galáxias LINERs.

1.4 Motivação

Determinar a abundância química em galáxias LINERs é especialmente complexa, uma vez que a fonte de ionização destes objetos é incerta. Apesar de inúmeros trabalhos sobre LINERs estarem disponíveis, até o momento não encontrou-se nenhum trabalho propondo um calibrador para a determinação de abundâncias químicas dessas galáxias. Recentemente, Kumari et al. (2019), utilizando dados IFU (do inglês *Integral Field Unit*) de 24 galáxias espirais próximas analisaram as diferenças na determinação de O/H utilizando três índices e propôs a utilização do diagnóstico $O3N2$ corrigido para estimar a metalicidade de regiões de emissão de baixa ionização (doravante LIERs). Ainda, existem poucos trabalhos que determinem a abundância química nesses objetos, como por exemplo, o de Storchi-Bergmann et al. (1996) e o Palacios et al. (1997). Portanto, estudos de abundância de O/H em galáxias do tipo LINER são de extrema importância.

1.5 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo determinar a abundância química da galáxia LINER UGC 4805. Para isso, iremos

- revisar os métodos disponíveis na literatura de determinação de abundância química em regiões de formação estelar e AGNs;
- determinar a abundância química das regiões H II da galáxia LINER UGC 4805;
- extrapolar o gradiente de abundância obtida nas regiões H II posicionadas ao longo do disco de UGC 4805 para a região nuclear da galáxia, obtendo assim, uma estimativa da abundância no núcleo desta.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma. No Capítulo 2 é apresentado o conjunto de dados utilizados, pertencente ao projeto MaNGA (do inglês *Mapping Nearby Galaxies at Apache Observatory*), assim como uma breve descrição da galáxia UGC 4805, objeto de estudo deste trabalho. O Capítulo 3 discute os métodos de determinação de abundância de O/H disponíveis na literatura. No Capítulo 4 os resultados são apresentados, e no quinto e último capítulo, às conclusões e perspectivas para trabalhos futuros são apresentadas.

2 Dados

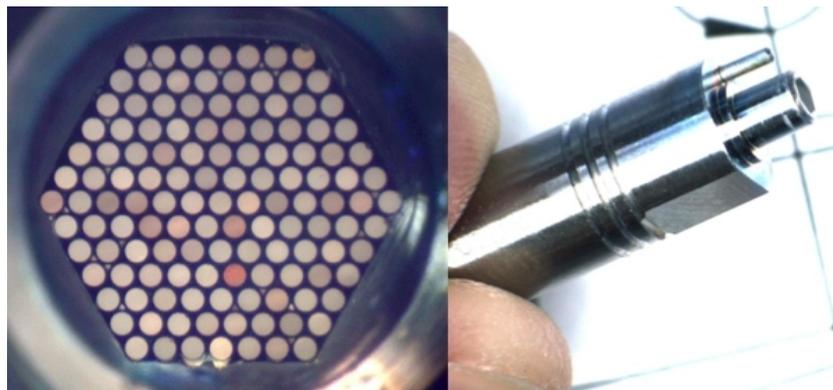
Os dados utilizados neste trabalho compreendem dados IFU do projeto MaNGA, com espectros no intervalo de comprimento de onda de aproximadamente 3600 – 10 000Å.

2.1 MaNGA

O projeto MaNGA é uma das três partes do projeto *Sloan Digital Sky Survey - IV*, ou simplesmente SDSS – IV. Consiste em um banco de dados que pretende catalogar cerca de 10 000 galáxias até 2020, com massa superior a $10^9 M_{\odot}$ a um *redshift* ~ 0.03 (PENNY et al., 2018; BUNDY et al.,). As observações do MaNGA são obtidas utilizando o telescópio de 2.5 m do Apache Point Observatory, localizado nas Montanhas Sacramento em Sunspot, no Novo México, Estados Unidos.

MaNGA utiliza o BOSS (do inglês *Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*), que lhe permite cobrir a faixa de 3600 – 10 000Å com resolução espectral de $R \sim 2000$. O MaNGA utiliza um conjunto de fibras óticas organizadas em formato hexagonal (ver Figura 6), formando o chamado IFU, que pode variar seu tamanho entre 19 e 127 fibras (12'' até 32'') (WYLEZALEK et al., 2018).

Figura 6 – Painel esquerdo: imagem de um IFU com 127 fibras. Painel direito: uma das fibras mostrada em detalhe.



Fonte: (MANGA, 2019b)

2.2 Galáxia LINER UGC 4805

A galáxia UGC 4805 é uma galáxia com núcleo ativo tipo LINER. Essa galáxia foi selecionada através de diagramas diagnósticos BPT¹ Baldwin, Phillips e Terlevich (1981), baseado nas seguintes razões de linhas: $[\text{O III}]\lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}]\lambda 6548/\text{H}\alpha$ e $[\text{O III}]\lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{S II}](\lambda 6717 + \lambda 6731)/\text{H}\alpha$. Essas razões de linhas de emissão são sensíveis ao principal mecanismo de ionização de uma região H II. Kewley et al. (2001) (doravante Ke01) estabeleceram uma linha teórica de formação estelar máxima nos diagramas BPT, a partir do limite superior de modelos de fotoionização estelar. Galáxias que ocupam a região acima dessa linha são ionizadas por AGN e/ou choques. Para descartar galáxias compostas, Kauffmann et al. (2003) (doravante Ka03) modificaram o esquema de Ke01 e incluíram uma linha empírica dividindo as galáxias de formação estelar de objetos compostos de Seyferts e regiões H II, cujos espectros contém uma contribuição significativa de AGN e regiões de formação estelar. Ainda, Kewley et al. (2006) mostraram que as LINERs e Seyferts ocupam regiões distintas nos diagramas diagnósticos ópticos padrões e, portanto, estabeleceram uma linha empírica que claramente separa as galáxias Seyferts das LINERs.

Há que se ressaltar que existem vários diagramas diagnósticos para classificação de galáxias e, o diagrama BPT utilizado neste trabalho é apenas um exemplo de diagrama (o mais difundido). Apesar de sua aplicação, o diagrama BPT proposto por Baldwin, Phillips e Terlevich (1981) não pode ser tido como infalível. Por exemplo, nos últimos anos, cerca de três décadas após Baldwin, Phillips e Terlevich (1981) proporem o diagrama BPT, estudos mostraram que uma galáxia que teve sua produção de estrelas cessada poderia apresentar mesma assinatura espectroscópica de um núcleo LINER, devido a ionização por estrelas evoluídas quentes e de baixa massa - estrelas tipo HOLMES (do inglês *Hot Low-Mass Evolved Stars*) (MOREIRA, 2017) (STASIŃSKA et al., 2008). Tais galáxias, chamadas de "aposentadas", acabaram representando um problema quanto à sua posição no diagrama BPT, uma vez que não são núcleos ativos mas se posicionam na região destinada às LINERs.

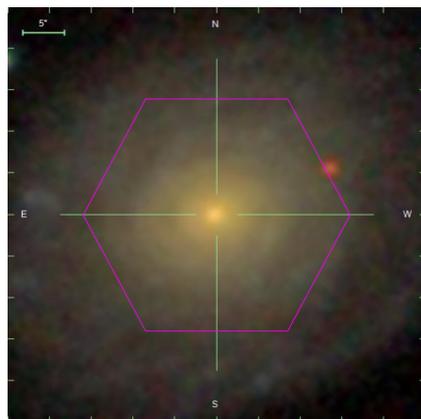
De um total de aproximadamente 800 galáxias do banco de dados do MaNGA, selecionamos somente as galáxias que apresentavam emissão tipo LINER em seu núcleo, o que resultou numa amostra de 21 galáxias, de onde escolheu-se UGC 4805 como objeto de estudo. A Figura 7 mostra uma imagem nas bandas *gri* do SDSS da galáxia UGC 4805 e uma mapa do fluxo em $\text{H}\alpha$. A Figura 8 mostra os diagramas BPT para cada *spaxel*² de UGC 4805 e a distribuição das regiões na galáxia de acordo com o diagrama $[\text{O III}]\lambda 5007/\text{H}\beta$ versus $[\text{N II}]\lambda 6548/\text{H}\alpha$. Como pode ser visto nesses diagramas, a área central

¹ O primeiro diagrama diagnóstico usado para distinguir o mecanismo de ionização do gás nebuloso foi proposto por Baldwin, Phillips e Terlevich (1981) e por isso esses diagramas recebem o nome de BPT.

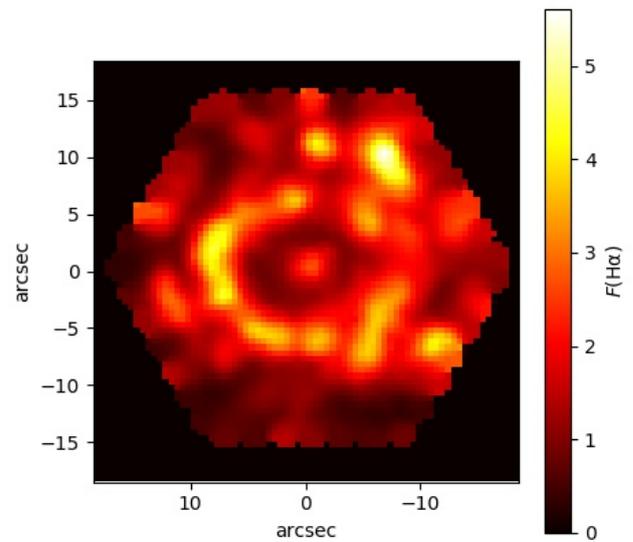
² Cada *spaxel* tem um tamanho de $0.5 \times 0.5 \text{ arcsec}^2$, o que corresponde $290 \times 290 \text{ pc}^2$ para UGC 4805

da galáxia é classificada como uma LINER. É importante salientar que o tamanho típico de uma região H II é de 10 a 50 pc, de diâmetro. Desta forma, cada *spaxel* possui várias regiões H II.

Figura 7 – O painel esquerdo mostra uma imagem nas bandas *gri* do SDSS do MaNGA de UGC 4805 com o campo de visão do IFU mostrado em rosa e o painel direito mostra um mapa do fluxo de $H\alpha$, em unidades de 10^{-17} erg/cm²/Å/spaxel.

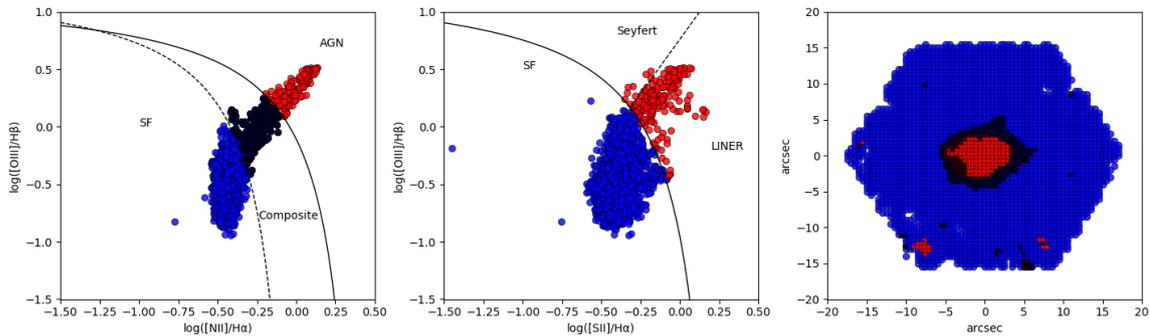


Fonte: (MANGA, 2019a)



Fonte: O Autor

Figura 8 – Painel esquerdo: Diagrama diagnóstico BPT utilizando $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ versus $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$. A curva sólida preta representa o limite superior ocupado pelas regiões de formação estelar definida por Ke06 e a linha tracejada por Kauffmann et al. (2003) Ka03. A região entre Ke06 e Ka03 é denominada região composta (pontos pretos). Os pontos vermelhos representam a região de AGN e os pontos azuis a de formação estelar. Painel central: Diagrama diagnóstico $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ versus $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$. A linha tracejada, obtida por Ke06 separa as áreas tipicamente ocupadas por Seyferts e LINERs. A curva sólida de Ke06 separa a região de formação estelar (pontos azuis) de AGN (pontos vermelhos). Painel direito: É mostrado a distribuição das regiões da galáxia UGC4805 de acordo com o digrama $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ versus $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ (painel esquerdo).



Fonte: O Autor

UGC 4805 é classificada como uma galáxia do tipo espiral (NILSON, 1973). Utilizando a ferramenta de pesquisa de galáxias companheiras do NED³, é possível afirmar que esta galáxia pertence a um grupo de galáxias em interação. Considerando a constante cosmológica padrão Λ CDM ($h_0 = 0.73$, $\Omega_{\text{matter}} = 0.27$, e $\Omega_{\text{darkenergy}} = 0.73$), uma diferença heliocêntrica radial ≤ 500 km/s e uma separação linear projetada ≤ 100 kpc, 5 galáxias companheiras de UGC 4805 são encontradas. Não há distorções na morfologia da galáxia. Ainda, é importante ressaltar que nenhum estudo detalhado foi realizado para UGC 4805. Na Tabela 1 alguns dados sobre UGC 4805 e das observações são apresentados.

³ NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) operado pelo Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, sob contrato com a National Aeronautics and Space Administration; <http://ned.ipac.caltech.edu/>

Tabela 1 – Dados de UGC 4805 e das observações. Os dados da galáxia foram extraídos do NED

Campo observado pelo MaNGA (diâmetro)	≈ 19 Kpc
Diâmetro da galáxia	≈ 42 Kpc
Escala Espacial	580 pc/arcsec
Velocidade heliocêntrica	8090 ± 59 km/s
Distância	$119,55 \pm 8,41$ Mpc
Coordenada RA	09h09m30.596s
Coordenada DEC	+45d57m08.49s
Data da observação	18/01/2015
Data da redução dos dados	18/03/2016
Tempo de exposição integrado	13501,3 segundos
<i>redshift</i> da galáxia	0.0269
Número de exposições	15

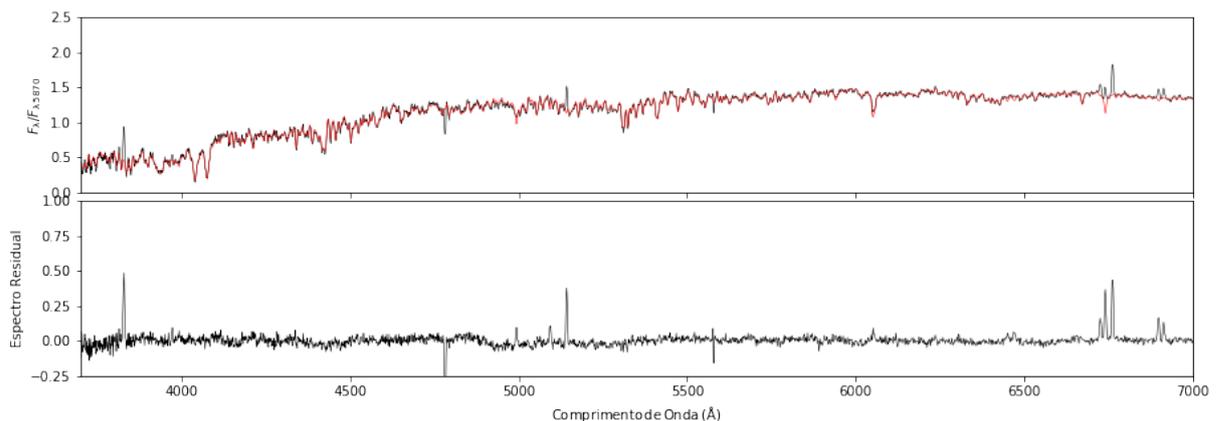
3 Metodologia

Nessa seção serão apresentados os métodos e procedimentos utilizados ao longo desse trabalho.

3.1 Síntese de população estelar e medições das linhas de emissão

As linhas de absorção provenientes da componente estelar podem afetar em diferentes graus a intensidade das linhas de emissão da componente gasosa no espectro medido. Este efeito é mais proeminente, mas não restrito, às linhas de Balmer e, portanto, a contribuição da população estelar deve ser subtraída de cada espectro antes de investigarmos as propriedades do gás de galáxias. Para isso, utilizou-se o código de síntese população estelar STARLIGHT (Fernandes et al., 2004, 2005; Mateus et al., 2006; Asari et al., 2007) usando uma combinação de modelos de populações estelares simples de Bruzual e Charlot (2003), com diferentes idades e metalicidades. Esse procedimento foi realizado pelo Dr. Igor Zinchenko. Na Figura 9 é mostrado o espectro observado, o espectro sintético da população estelar e o espectro nebuloso puro do *spaxel* central (290×290 pc²) de UGC 4805.

Figura 9 – Painel superior: Espectro observado (em preto) e espectro sintético (em vermelho) do *spaxel* central de UGC 4805. Painel inferior: Espectro de emissão pura



Fonte: O Autor

Uma vez que a contribuição da população estelar foi subtraída dos espectros, os fluxos das linhas de emissão foram medidos através de ajustes gaussianos. Foram consideradas somente intensidades de linhas de emissão com razão sinal ruído (S/N) maior que 3,5 e com erros relativos menores que 50%. Para cada espectro, foram medidas os

fluxos das linhas [O III] $\lambda 3726 + \lambda 3729$, $H\beta$, [O III] $\lambda 5007$, [N II] $\lambda 6548$, $H\alpha$, [N II] $\lambda 6584$, [S II] $\lambda 6717$ e [S II] $\lambda 6731$.

As linhas de emissão [O III] $\lambda 5007$ e [O III] $\lambda 4959$ originam dos mesmos níveis de energia, assim a razão de seus fluxos é determinada somente pela razão da probabilidade de transição, o qual é próximo de 3 (STOREY; ZEIPPEN, 2000). Como a linha mais forte é [O III] $\lambda 5007$, o fluxo da linha [O III] $\lambda 4959$ foi assumido como 1/3 do de [O III] $\lambda 5007$. Essa etapa também foi realizada pelo Dr. Igor Zinchenko.

3.2 Correção por avermelhamento

O meio interestelar é composto basicamente por poeira e gás e compreende todo o espaço entre as estrelas. A maior parte do gás é composta por hidrogênio ($\approx 90\%$), enquanto a poeira é essencialmente composta de grafite e silicatos. Os grãos que a compõe são microscópicos, com dimensões menores que um micrômetro e que podem causar interferências nas observações feitas pelos astrônomos.

A poeira pode reduzir a quantidade de luz emitida pelo objeto. Isso ocorre devido a dois fatores: absorção e espalhamento da radiação. A poeira interestelar pode tanto espalhar os raios de luz quanto absorvê-los.

Para corrigir esse efeito nos fluxos observados, utilizou-se a relação

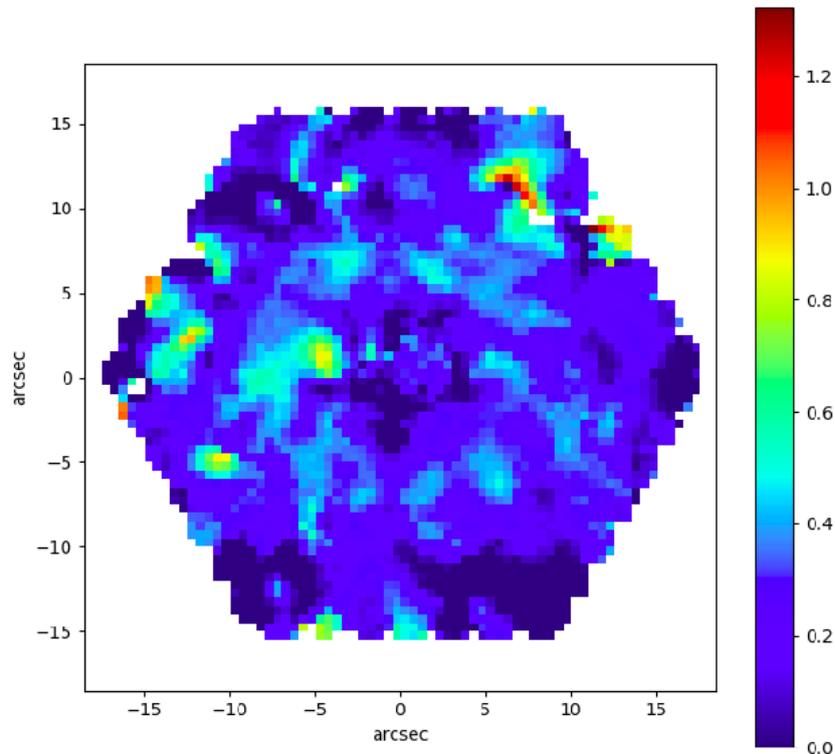
$$\frac{I(\lambda)}{I(H\beta)} = \frac{F(\lambda)}{F(H\beta)} \times 10^{c(H\beta)[f(\lambda)-f(H\beta)]} \quad (3.1)$$

sendo $I(\lambda)$ a intensidade do fluxo corrigido por avermelhamento em um dado comprimento de onda, $F(\lambda)$ a intensidade do fluxo observado, $f(\lambda)$ a dependência da extinção com o comprimento de onda, e $c(H\beta)$ o coeficiente de extinção interestelar.

O coeficiente de extinção interestelar foi calculado utilizando a razão de linhas $H\alpha/H\beta$ e comparando-a com a razão de linhas teóricas dada por Hummer e Storey (1987) para uma temperatura de 10 000 K e densidade eletrônica de 100 cm^{-3} . A função de avermelhamento utilizada para correções dos fluxos foi obtida por Savage e Mathis (1979), considerando-se $H\alpha/H\beta = 2,86$. Vale ressaltar que a correção por avermelhamento é uma aproximação que induz erros nas razões de linhas de emissão utilizadas para determinar a abundância de oxigênio na UGC 4805, uma vez que para sua aplicação se supõem temperaturas e densidades eletrônicas constantes ao longo dos 19 Kpc observados da UGC 4805.

O mapa do coeficiente de extinção interestelar obtido pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Mapa do coeficiente de extinção interestelar, $c(H\beta)$, calculado para a galáxia UGC 4805, comparando-se a razão de linha $H\alpha / H\beta$ com a razão teórica, dada por Hummer e Storey (1987)



Fonte: O Autor

3.3 Determinação da abundância de O/H

O método- T_e não pode ser utilizado para estimar a abundância de O/H no núcleo da UGC 4805 e nos *spaxels* considerados como regiões H II, uma vez que as linhas sensíveis à temperatura, tais como [O III] $\lambda 4363$ e [N II] $\lambda 5755$, não são detectadas em nossos espectros. Desta forma, calibrações de linhas de emissão fortes em função da abundância de oxigênio foram utilizadas nesse trabalho.

Para calcular a abundância de oxigênio no núcleo de UGC 4805, primeiro calculou-se a abundância de oxigênio em regiões H II ao longo do disco da galáxia para posteriormente extrapolar-se o gradiente radial dessas abundâncias para a distância galactocêntrica zero (região nuclear). Esse método, também conhecido como método de interseção central, é usado por diferentes autores para determinar a abundância no centro de uma galáxia (e.g., VILA-COSTAS; EDMUNDS, 1992; ZARITSKY; KENNICUTT JR.; HUCHRA, 1994; PILYUGIN; VÍLCHEZ; CONTINI, 2004).

A seguir, todos os calibradores de abundância química utilizados neste trabalho, serão brevemente descritos.

3.3.1 Calibradores de abundância para regiões H II

Para determinar a abundância das regiões HII ao longo do disco da UGC 4805 utilizou-se os calibradores disponíveis na literatura de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#), [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#), [Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra \(1994\)](#), [Denicoló, Terlevich e Terlevich \(2002\)](#), [Pettini e Pagel \(2004\)](#), [Dors e Copetti \(2005\)](#) e [Pilyugin e Grebel \(2016\)](#).

a) Índice R_{23}

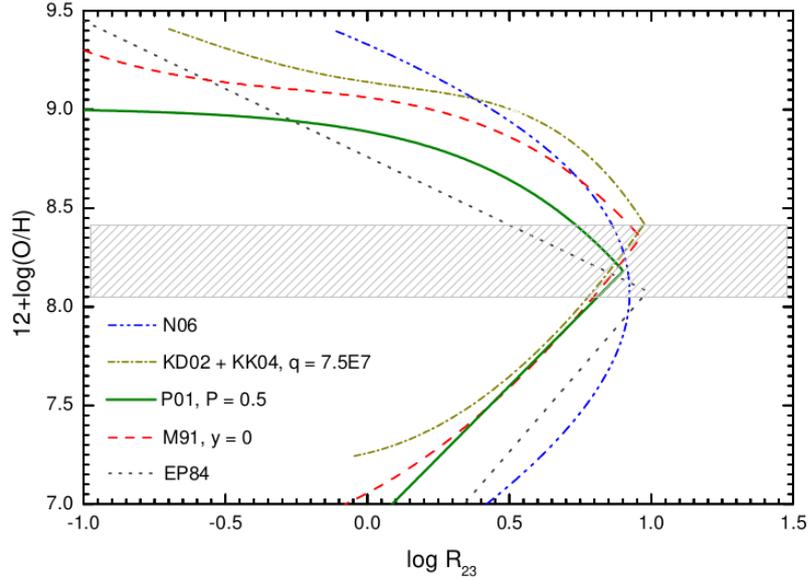
As calibrações propostas por [Edmunds e Pagel \(1984\)](#), [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#), [Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra \(1994\)](#), [Dors e Copetti \(2005\)](#) se baseiam no índice R_{23} , proposto inicialmente por [Pagel et al. \(1979\)](#). A razão R_{23} é um importante indicador de abundância de oxigênio e, é dada por

$$R_{23} = \frac{I(\lambda 5007) + I(\lambda 4959) + I(\lambda 3727)}{I(H\beta)} \quad (3.2)$$

A utilização da razão R_{23} como indicador de abundância de oxigênio não é tão simples. Os valores de abundância produzidos por R_{23} são degenerados, ou seja, apresentam uma duplicidade para os valores das abundância. A [Figura 11](#) mostra a questão da degenerescência do R_{23} . Observa-se que os valores de abundância formam dois ramos, chamados de ramo superior [para $12 + \log(O/H) > 8,2$] e ramo inferior [$12 + \log(O/H) < 8,2$].

A calibração proposta por [Pilyugin e Grebel \(2016\)](#) utiliza as linhas de emissão de [O II] e [O III], todavia não combinadas da maneira predita pela equação [3.2](#).

Figura 11 – Abundância de oxigênio em função do parâmetro R_{23} . Na figura é mostrada diferentes calibrações empíricas (representadas pelas curvas) que utilizam o R_{23} . As calibrações mostradas na figura são: EP84 de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#), M91 de [McGaugh \(1991\)](#), P01 de [Pilyugin \(2001b\)](#), (KD02 + KK04) de [\(KEWLEY; DOPITA, 2002\)](#) e, N06 de [Nagao, Maiolino e Marconi \(2006\)](#). A área hachurada representa a região onde há mudança da abundância do ramo inferior para ramo superior.



Fonte: [Lopez-Sanchez e Esteban \(2010\)](#)

Uma forma de quebrar a degenerescência é utilizando outras razões de linhas de emissão, tais como $[\text{N II}]\lambda 6584/[\text{O II}]\lambda 3727$. Considere-se o ramo superior das abundâncias se $\log([\text{N II}]\lambda 6584/[\text{O II}]\lambda 3727) > -1$ e, considere-se ramo inferior das abundâncias se $\log([\text{N II}]\lambda 6584/[\text{O II}]\lambda 3727) < -1$ ([KEWLEY; ELLISON, 2008](#)).

b) Índice $N2$ e $O3N2$

[Alloin et al. \(1979\)](#) propuseram a utilização do índice $O3N2$, dado por

$$O3N2 = \log \left(\frac{[\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta}{[\text{NII}]\lambda 6583/\text{H}\alpha} \right). \quad (3.3)$$

[Storchi-Bergmann, Calzetti e Kinney \(1994\)](#) propuseram a utilização do índice $N2$, dado por

$$N2 = \log \left(\frac{[\text{NII}]\lambda 6584}{\text{H}\alpha} \right). \quad (3.4)$$

A vantagem que esses índices apresentam em relação ao R_{23} é que, devido a proximidade de suas linhas, praticamente são insensíveis à correção pelo avermelhamento.

Assim como na utilização do R_{23} , as abundâncias estimadas através dos índices $O3N2$ e $N2$ também apresentam duplicidades, no entanto, esse comportamento começa em valores maiores de metalicidade (e.g. para $N2$ começa em $12+\log(O/H)>9$).

Pode-se utilizar as linhas de N para determinação de O/H uma vez que com o aumento da abundância de oxigênio, devido a sua natureza secundária, a abundância de nitrogênio diminui, podendo-se então estabelecer uma relação entre as abundâncias desses elementos.

A calibração proposta por [Pettini e Pagel \(2004\)](#) faz uso do indicador $O3N2$, enquanto a calibração de [Denicoló, Terlevich e Terlevich \(2002\)](#) baseia-se no índice $N2$.

c) Calibração proposta por [Edmunds e Pagel \(1984\)](#)

Proposta em 1984, a calibração baseia-se no índice, cujas equações são dadas por

$$12 + \log(O/H)_{\text{up}} = 8,76 - 0,69 \times \log R_{23} \quad (3.5)$$

e,

$$12 + \log(O/H)_{\text{low}} = 6,43 + 1,67 \times \log R_{23} \quad (3.6)$$

A primeira equação (3.5) é dada para o ramo superior de metalicidade (sup), enquanto a segunda (3.6) é dada para o ramo inferior (low). Para essa calibração, o valor de transição é $12+\log(O/H) = 8,0$.

d) Calibração proposta por [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#)

Os autores analisaram dados espectrofotométricos de 99 regiões H II localizadas em 20 galáxias espirais e irregulares. A calibração obtida, de maneira empírica pelos autores é dada pela equação a seguir

$$12 + \log(O/H) = 9,32546 - 0,360465 \times x + 0,203494 \times x^2 + 0,278702 \times x^3 - 1,36351 \times x^4, \quad (3.7)$$

sendo $x = \log R_{23}$.

De acordo com [Lopez-Sanchez e Esteban \(2010\)](#), essa equação deve ser utilizada somente em abundâncias superiores a 8,15.

e) Calibração proposta por Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)

Os autores analisaram 159 regiões H II em 14 galáxias espiriais, para as quais o gradiente radial de abundância e as propriedades macroscópicas foram investigadas.

Através de uma média entre as calibrações de Edmunds e Pagel (1984), McCall, Rybski e Shields (1985) and Dopita e Evans (1986) para a determinação de abundância de oxigênio, Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994) formularam uma nova calibração dada por

$$12 + \log(O/H) = 9,265 - 0,33 \times x - 0,202 \times x^2 - 0,207 \times x^3 - 0,333 \times x^4, \quad (3.8)$$

sendo $x = \log R_{23}$.

A validade dessa calibração é controversa. Segundo os autores, a equação é válida para abundâncias superiores a 8,20. Todavia, Lopez-Sanchez e Esteban (2010) afirmam que 8,35 é o valor mais preciso para utilização dessa calibração.

f) Calibração proposta por Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)

Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002) propuseram uma calibração para determinar a abundância de oxigênio baseada na intensidade de linhas [N II] λ 6584 e H α . Para derivar essa calibração, os autores compilaram da literatura uma amostra de regiões HII contendo espectros com alto sinal ruído e resolução espectral melhor que 8 Å.

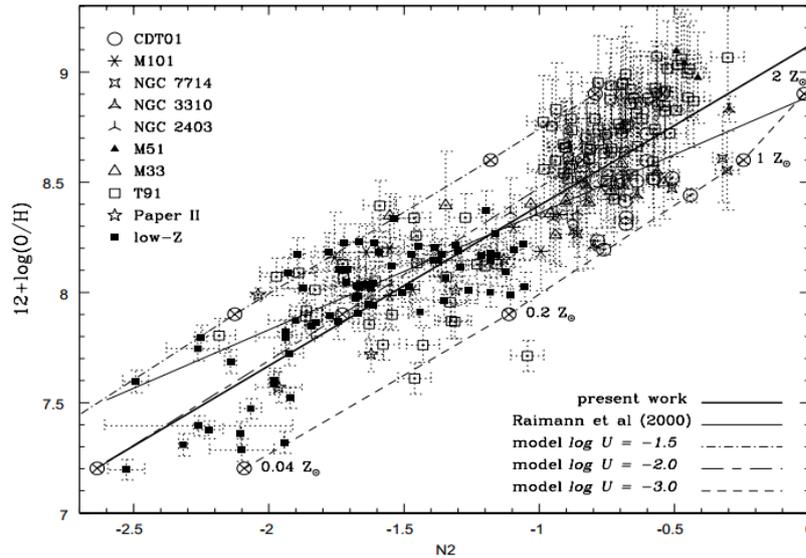
A calibração obtida por Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002) considerou uma compilação de espectros de regiões HII juntamente com grades de modelos de fotoionização utilizando o código Cloudy. A expressão obtida pelos autores é dada a seguir:

$$12 + \log(O/H) = 9,12 + 0,73 \times N2 \quad (3.9)$$

Essa equação é válida somente para o intervalo de $7,2 < \log(O/H) < 9,1$.

A Figura 12 mostra a abundância de oxigênio versus o calibrador $N2$.

Figura 12 – Abundância de oxigênio versus o calibrador $N2$. A linha sólida negra representa a relação linear dada pela equação $12 + \log(O/H) = 9,12 + 0,73 \times N2$. O coeficiente de correlação obtido é 0,85. Os círculos com cruzes representam as metalicidades obtidas a partir dos modelos de fotoionização. Os demais símbolos correspondem às metalicidades obtidas por outros autores. Para maiores informações, veja [Denicoló, Terlevich e Terlevich \(2002\)](#).



Fonte: [Denicoló, Terlevich e Terlevich \(2002\)](#)

A abrangência de estimativas de metalicidade para esse índice cobre uma faixa de $1/50$ a duas vezes a abundância solar¹, isto é, $7,2 < \log(O/H) < 9,1$. Os autores acreditam que o uso do índice $N2$ possui vantagens sobre as demais calibrações, uma vez que envolve fluxos de linhas facilmente medidas. Além disso, a razão $N2$ não necessita de correção de avermelhamento.

g) Calibração proposta por [Pettini e Pagel \(2004\)](#)

Essa calibração de O/H foi obtida para ser utilizada em galáxias com alto *redshift*. [Pettini e Pagel \(2004\)](#) utilizaram os indicadores $[O III]/H\beta$ e $[N II]/H\alpha$, uma vez que há um aumento sistemático da primeira razão e uma diminuição da segunda com as distâncias galactocêntricas em regiões H II. A razão $[N II]/H\alpha$ é muito sensível a abundância de oxigênio, uma vez que quando essa abundância diminui para valores subsolares há uma tendência em aumentar a ionização, fazendo com que $[N II]/[N III]$ diminua.

Neste estudo os autores utilizaram uma amostra de 137 regiões H II extragalácticas com valores de abundância de oxigênio e $N2$ bem determinadas por método direto

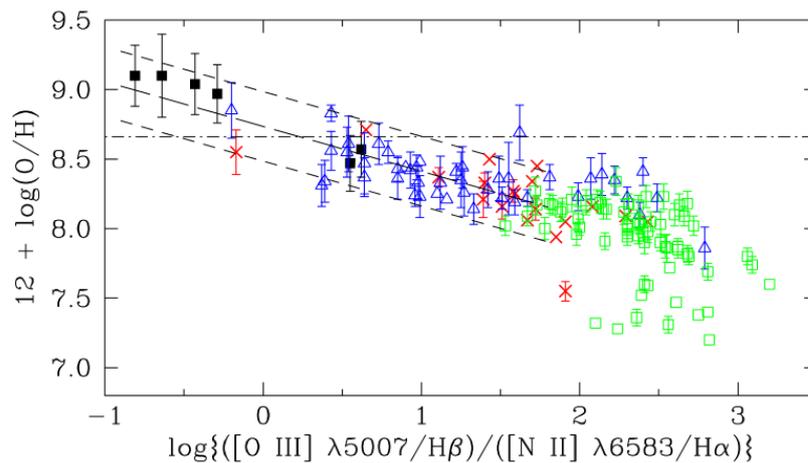
¹ A abundância solar, foi considerada pelos autores sendo igual a $12 + \log(O/H) = 8,91$

ou por modelos detalhados de fotoionização. A calibração é dada pela equação

$$12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8,73 - 0,32 \times \text{O3N2} \quad (3.10)$$

A Figura 13 mostra a abundância de oxigênio versus O3N2 . Nota-se que o ajuste inclui uma faixa restrita de objetos, produzindo valores de abundâncias confiáveis somente entre $-1 < \text{O3N2} < 1,9$, equivalente a $8,0 < \log(\text{O}/\text{H}) < 9,0$, ou seja, o ramo superior metalicidade do R_{23} .

Figura 13 – Abundância de oxigênio versus O3N2 . Quadrados fechados são abundâncias estimadas via modelos de fotoionização. Triângulos abertos representam galáxias espirais e irregulares. Quadrados abertos representam galáxias compactas azuis. A linha tracejada larga é a melhor relação linear, dada pela equação 3.10 e válida somente quando $\text{O3N2} < 1,9$. As linhas tracejadas curtas representam a variação de $(\text{O}/\text{H}) \pm 0,25$, enquanto a linha tracejada horizontal representa a abundância solar.



Fonte: Pettini e Pagel (2004)

Nota-se que há correlação entre a calibração e os dados somente quando $\text{O3N2} < 1,9$, o que implica na exclusão de parcela significativa de objetos. De uma amostra de 137 regiões HII, somente 65 satisfazem essa condição. Apesar da amostra reduzida, o método parece promissor, produzindo uma relação entre O3N2 e $\log(\text{O}/\text{H})$ aproximadamente linear, com precisão comparável à do método R_{23} . Em relação a aplicação dessa calibração em objetos com alto *redshift*, têm-se a vantagem do índice depender de razões de linhas próximas em comprimento de onda, eliminando a necessidade de correções para avermelhamento e calibração precisa do fluxo. Além disso, o índice é altamente sensível a abundância de oxigênio, o que torna o método apropriado para quando houver dados com sinal ruído moderado.

h) Calibração proposta por Dors e Copetti (2005)

Dors e Copetti (2005) utilizaram modelos de fotoionização, construídos com o código Cloudy, considerando três parâmetros: abundância de O, S e N; parâmetro de ionização e, temperatura efetiva da estrela ionizante, para reproduzir a variação das razões de linhas em função da distância galactocêntrica em uma amostra de quatro galáxias espirais.

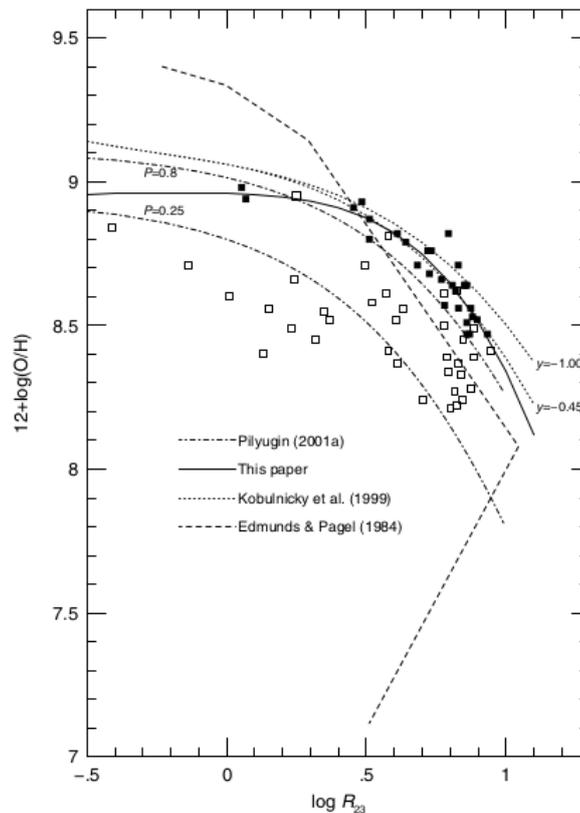
Dors e Copetti (2005) encontraram uma calibração semi-empírica para estimar a abundância de oxigênio em regiões de formação estelar, derivada a partir do parâmetro R_{23} . A equação que define a calibração é dada por (em que $x = \log R_{23}$),

$$12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8,96 - 0,03 \times x - 0,10 \times x^2 - 0,21 \times x^3 - 0,26 \times x^4 \quad (3.11)$$

Nenhuma variação sistemática no parâmetro de ionização em função da distância galactocêntrica foi encontrado. As abundâncias derivadas a partir da calibração proposta por Dors e Copetti (2005) superestimam as abundâncias obtidas através do método T_e dentro 0,1 - 0,4 dex, fato que pode ser explicado devido às incertezas produzidas pelos modelos de fotoionização e pelas flutuações de temperatura eletrônica em regiões H II.

A Figura 14 mostra uma comparação entre a abundância de oxigênio estimada através da calibração proposta por Dors e Copetti (2005) e a abundância de oxigênio estimada através de outras calibrações. Como é possível notar, a calibração proposta por Dors e Copetti (2005) é válida somente para $\log(R_{23}) < 1$.

Figura 14 – Comparação entre diferentes calibrações para determinação da abundância de oxigênio utilizando o parâmetro R_{23} . A linha sólida preta representa a calibração de Dors e Copetti (2005). Os quadrados fechados correspondem aos valores obtidos pelos modelos de Dors e Copetti (2005), enquanto os quadrados abertos representam a abundância de oxigênio determinada diretamente.



Fonte: Dors e Copetti (2005)

i) Calibração proposta por Pilyugin e Grebel (2016)

Pilyugin e Grebel (2016) utilizaram uma amostra de regiões H II com abundâncias determinadas pelo chamado "Método C", proposto por (PILYUGIN; GREBEL; MATTS-SON, 2012). Tal método é aplicável para um grande intervalo de valores de metalicidades e, fornece valores de abundâncias de oxigênio e nitrogênio próximos aos derivados pelo método direto. Esta calibração trata-se na verdade de um refinamento de calibrações anteriores desenvolvidas pelos próprios autores, a saber: Pilyugin (2001a), Pilyugin (2001b), Pilyugin, Thuan e Vílchez (2006) e Pilyugin e Grebel (2016).

Os autores definiram o parâmetro de excitação P , dado por

$$P = R3/(R2 + R3), \quad (3.12)$$

sendo

$$R2 = I[\text{O II}](\lambda 30727 + \lambda 3729)/\text{H}\beta$$

$$N2 = I[\text{N II}](\lambda 6548 + \lambda 6584)/\text{H}\beta$$

$$S2 = I[\text{S II}](\lambda 6717 + \lambda 6731) / \text{H}\beta$$

$$R3 = I[\text{O III}](\lambda 4959 + \lambda 5007)/\text{H}\beta$$

Para essa calibração foram utilizadas 313 regiões H II. Empiricamente, estimou-se a transição entre os ramos inferior e superior de metalicidade em $\log N2 = -0,6$.

Foram propostos calibradores utilizando razão de linhas de oxigênio, resultando nas abundâncias denominadas por $(\text{O}/\text{H})_R$ e de enxofre, denotadas por $(\text{O}/\text{H})_S$. $(\text{O}/\text{H})_R$ pode ser usado somente quando estão presentes as linhas de emissão que permitem a determinação de $R2$. Nesse trabalho, discutiremos somente a calibração de $(\text{O}/\text{H})_R$, uma vez que as linhas de emissão do oxigênio foram medidas para a UGC 4805.

As expressões que definem a calibração dada pelo índice $R2$ são

$$\begin{aligned} 12 + \log(\text{O}/\text{H}) = & 8,589 + 0,022 \times \log(R_3/R_2) + 0,399 \times \log N_2 + \\ & (-0,137 + 0,164 \times \log(R_3/R_2) + 0,589 \times \log N_2) \times \log R_2 \end{aligned} \quad (3.13)$$

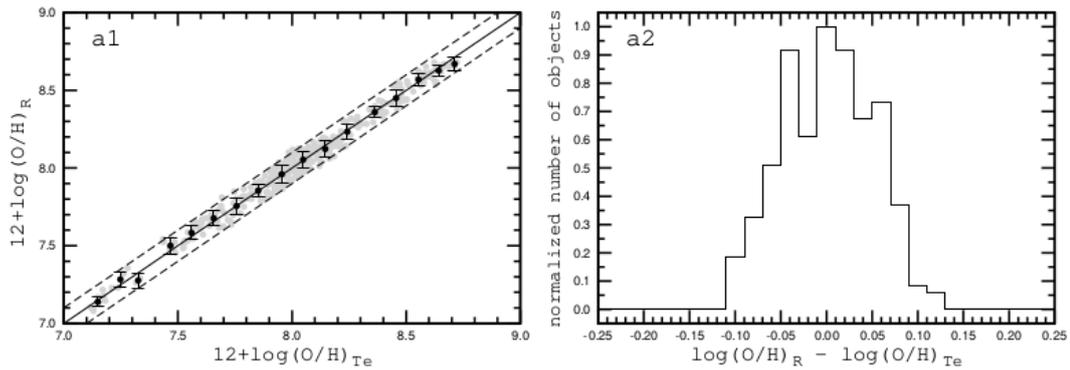
e

$$\begin{aligned} 12 + \log(\text{O}/\text{H}) = & 7,932 + 0,944 \times \log(R_3/R_2) + 0,695 \times \log N_2 \\ & +(0,970 - 0,291 \times \log(R_3/R_2) - 0,019 \times \log N_2) \times \log R_2 \end{aligned} \quad (3.14)$$

sendo a equação 3.13 válida para $\log(N_2) > -0,6$ e a equação 3.14 para $\log(N_2) < -0,6$.

A Figura 15 mostra a abundância de oxigênio $(\text{O}/\text{H})_R$ versus a abundância de oxigênio (O/H) obtida pelo método direto para uma amostra de 313 regiões H II.

Figura 15 – Figura adaptada de Pilyugin e Grebel (2016). Na esquerda é mostrado a abundância de oxigênio $(O/H)_R$ versus a abundância de O/H obtida pelo método direto. Os pontos cinzas são regiões H II individuais, enquanto os pontos pretos representam a abundância média dentro de 0,1 dex pelo método direto. A linha sólida mostra onde os valores $(O/H)_R$ é igual ao valor $(O/H)_{Te}$, enquanto a linha tracejada mostra a variação de 0,1 dex. Na direita é mostrado o histograma com a distribuição da diferença entre abundância estimada através da calibração de Pilyugin e Grebel (2016) e a abundância calculada pelo método direto.



Fonte: Pilyugin e Grebel (2016)

Como pode ser visto na figura 15, as abundâncias de oxigênio determinadas pela calibração de Pilyugin e Grebel (2016) e pelo método direto concordam dentro de 0,1 dex, sendo que a diferença média para as 313 regiões é de aproximadamente 0,049 dex.

As duas calibrações apresentadas por Pilyugin e Grebel (2016) utilizam razões de linhas de emissão diferentes (enxofre e oxigênio) e resultam em abundâncias que concordam dentro de 0,05 dex para a maior parte da amostra analisada.

3.3.2 Calibradores de abundância para AGNs

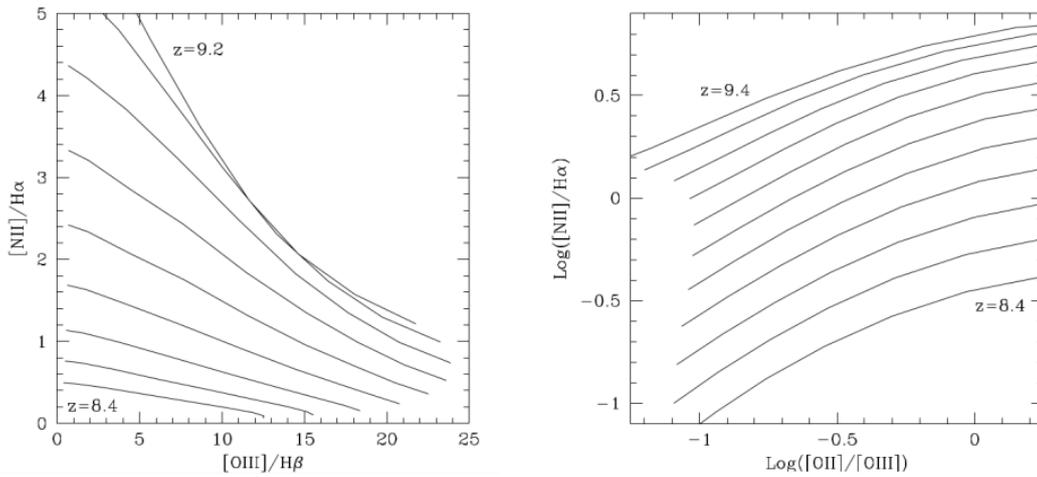
Como os calibradores descritos anteriormente são válidos somente para regiões de formação estelar, buscou-se na literatura calibradores que fossem direcionados à AGNs, sobretudo à galáxias com emissão LINER. Foram encontrados quatro calibradores voltados à AGNs, dois propostos por Storchi-Bergmann et al. (1998) sendo aplicáveis a galáxias LINERs, e outros dois calibradores propostos por Dors et al. (2014) e Castro et al. (2017), ambos voltados para galáxias Seyfert do tipo 2. A seguir uma breve discussão desses calibradores é apresentada.

a) Calibração proposta por Storchi-Bergmann et al. (1998)

O trabalho de Storchi-Bergmann et al. (1998) foi o pioneiro em propor uma calibração para estimar a metalicidade em AGNs. Nesse trabalho os autores propuseram duas calibrações para determinação de abundância química nas NLR de galáxias ativas

tipo Seyfert e LINER. Para tanto, foram utilizadas razões de linhas fortes e, consequentemente, fáceis de serem observadas, tais como, $[\text{O III}]\lambda(4959 + 5007)/\text{H}\beta$, $[\text{N II}]\lambda(6548 + 6584)/\text{H}\alpha$ e $[\text{O II}]\lambda 3727/[\text{O III}]\lambda(4959 + 5007)/\text{H}\beta$. Essas calibrações foram derivadas a partir de grades de modelos de fotoionização, considerando como fonte ionizante da galáxia um AGN. A Figura 16 mostra as duas grades de modelos de fotoionização produzidas pelos autores.

Figura 16 – O painel esquerdo mostra $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ versus $[\text{O III}]/\text{H}\beta$. O painel da direita $\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha)$ versus $\log([\text{O II}]/[\text{O III}])$. Sobrepostas a essas figuras está a grade de modelos de fotoionização considerando o gás com densidade de 300 cm^{-3} e parâmetro de ionização variando entre $-4 \leq \log(U) \leq -2$.



Fonte: Storchi-Bergmann et al. (1998)

As expressões que definem os calibradores propostos são mostradas a seguir:

$$\begin{aligned}
 (\text{O}/\text{H}) = & 8,34 + 0,212x - 0,012x^2 - 0,002y + 0,007xy - 0,002x^2y + \\
 & 6,52 \times 10^{-4}y^2 + 2,27 \times 10^{-4}xy^2 + 8,87 \times 10^{-5}x^2y^2
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

sendo $x = [\text{N II}]/\text{H}\alpha$ e $y = [\text{O III}]/\text{H}\beta$. Essa equação é válida para o intervalo $8,4 \leq (\text{O}/\text{H}) \leq 9,2$.

$$\begin{aligned}
 (\text{O}/\text{H}) = & 8,643 - 0,275u + 0,164u^2 + 0,655v - 0,154uv - 0,021u^2v + \\
 & 0,288v^2 + 0,162uv^2 + 0,0353u^2v^2
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

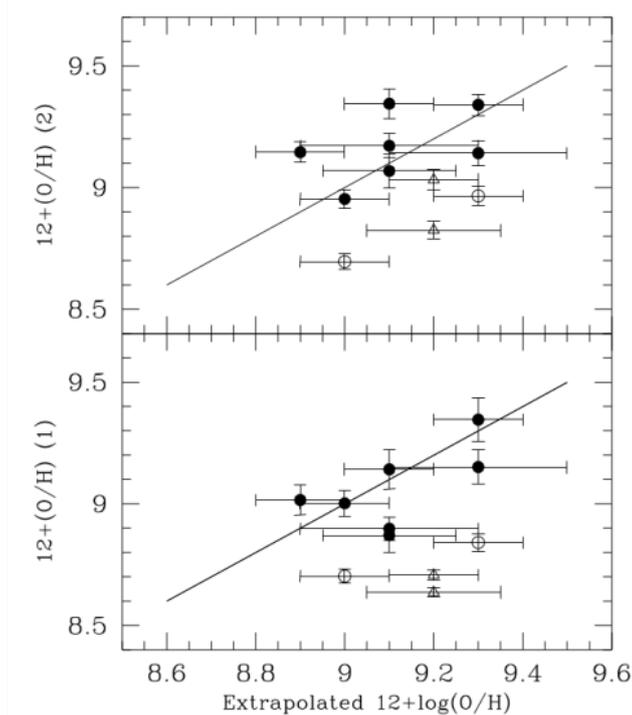
sendo $u = \log([\text{O II}]/[\text{O III}])$ e $v = \log([\text{N II}]/\text{H}\alpha)$. Essa equação é válida para o intervalo de $8,4 \leq (\text{O}/\text{H}) \leq 9,4$.

Para efeitos de comparação e validação, as calibrações obtidas foram testadas para NLR de galáxias Seyfert e LINER que possuem regiões H II na vizinhança dos

seus núcleos. As abundâncias das NLR foram determinadas pelo método de extrapolação do gradiente das abundâncias das regiões H II ao longo do disco das galáxias. Para as Seyferts, os valores concordavam, já para as galáxias LINER a abundância determinada através dos calibradores eram sistematicamente inferiores às abundâncias determinadas pelo método direto.

A Figura 17 mostra a comparação entre as abundâncias estimadas utilizando-se os calibradores propostos e as abundâncias estimadas pela extrapolação em regiões HII. É possível notar que para as galáxias Seyferts, parece haver melhor correlação entre os valores, enquanto que para galáxias LINERs esse fato não ocorre com tanta clareza.

Figura 17 – Abundâncias de O/H determinadas pela equação 3.15 (painel superior) e equação 3.16 (painel inferior). Os símbolos fechados representam Seyferts 2 e, os símbolos abertos representam LINERs. Os triângulos representam as LINERs com assinatura de atividade estelar no núcleo. A linha representa a correlação entre a abundância obtida pelo calibrador e pelas extrapolações em regiões HII.



Fonte: [Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#)

b) Calibração proposta por [Dors et al. \(2014\)](#)

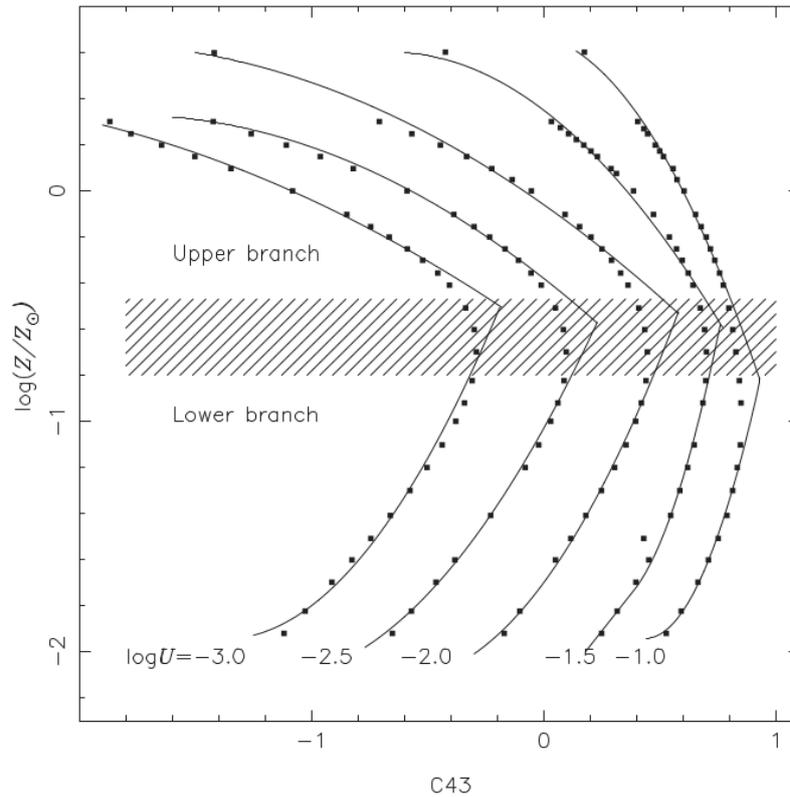
[Dors et al. \(2014\)](#) analisaram a evolução da metalicidade do gás de AGNs com *redshift* entre $0 < z < 4$ usando dados espectroscópicos no ultravioleta e modelos de fotoionização. Nesse artigo é sugerido um novo índice, C43, para estimar abundância

quando utilizando linhas no ultravioleta, definido por

$$C43 = \log[(CIV \lambda 1549 + CIII] \lambda 1909)/HeII \lambda 1640]. \quad (3.17)$$

Para esse estudo, os autores usaram uma amostra composta de 12 galáxias Seyfert 2, 59 rádio-galáxias de alto *redshift* e 10 quasares tipo 2 com *redshift* menor que 4, cujos dados foram compilados da literatura. Modelos de fotoionização utilizando Cloudy versão 08.00 e dados observacionais foram utilizados para a derivação do novo calibrador. A Figura 18 mostra a relação entre o logaritmo da metalicidade e o índice C43.

Figura 18 – Relação entre o logaritmo da metalicidade e o C43. As curvas representam os ajustes dos resultados dos modelos, representados por pontos, para distintos parâmetros de ionização. A região hachurada representa a transição entre ramo superior e inferior.



Fonte: Dors et al. (2014)

A expressão encontrada para determinar o parâmetro de ionização (U) dos objetos é dada por

$$\log U = -0,10(\pm 0,06)x^2 - 1,14(\pm 0,02)x - 1,93(\pm 0,03) \quad (3.18)$$

sendo $x = \log(C III]/C IV)$.

O método apresentado é vantajoso quando comparado aos demais métodos existentes na literatura devido a sua baixa dependência com o parâmetro de ionização. Os resultados encontrados através do método C43 concordam com resultados de abundâncias máximas de oxigênio inferidas para partes centrais de galáxias espirais.

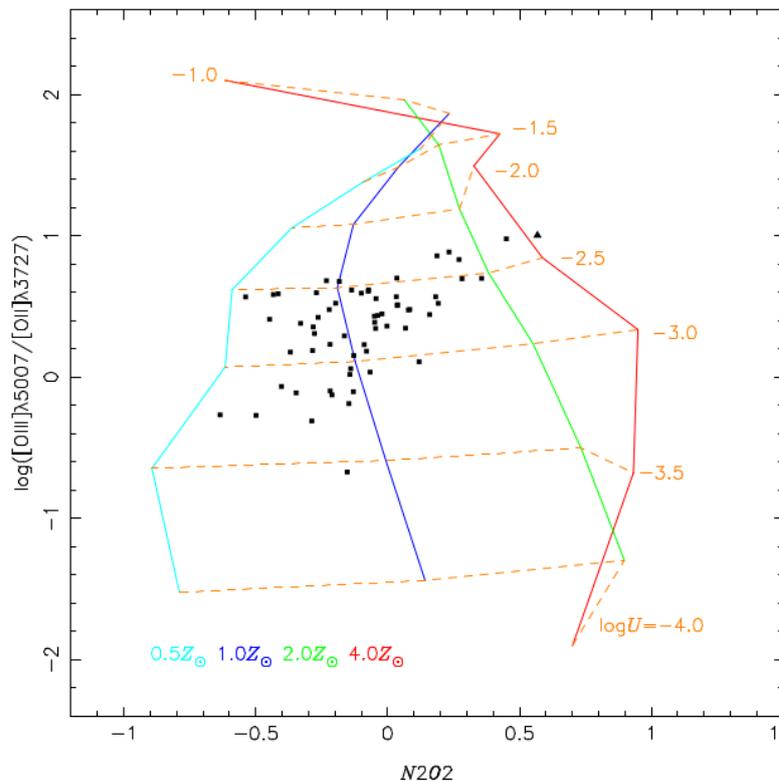
Essa calibração não será aplicada nesta pesquisa para determinar a abundância química no núcleo da UGC 4805 uma vez que esta utiliza intensidades de linhas de emissão no ultravioleta e, os dados obtidos para a UGC 4805 compreendem a faixa do óptico do espectro eletromagnético.

c) Calibração proposta por [Castro et al. \(2017\)](#)

O método de determinação de metalicidade proposto por [Castro et al. \(2017\)](#) foi desenvolvido para galáxias Seyfert 2. Foram determinadas as metalicidades de 58 galáxias através de grades de modelos de fotoionização usando o código de fotoionização Cloudy.

Na Figura 19 pode-se observar a grade de modelos de fotoionização produzida e os objetos da amostra estudada.

Figura 19 – $\log([\text{O III}]/[\text{O II}])$ versus $N2O2$. A linha sólida representa os modelos de fotoionização produzidos enquanto as linhas tracejadas representam as curvas de parâmetros de iso-ionização. Os pontos negros são os objetos da amostra.



Fonte: [Castro et al. \(2017\)](#)

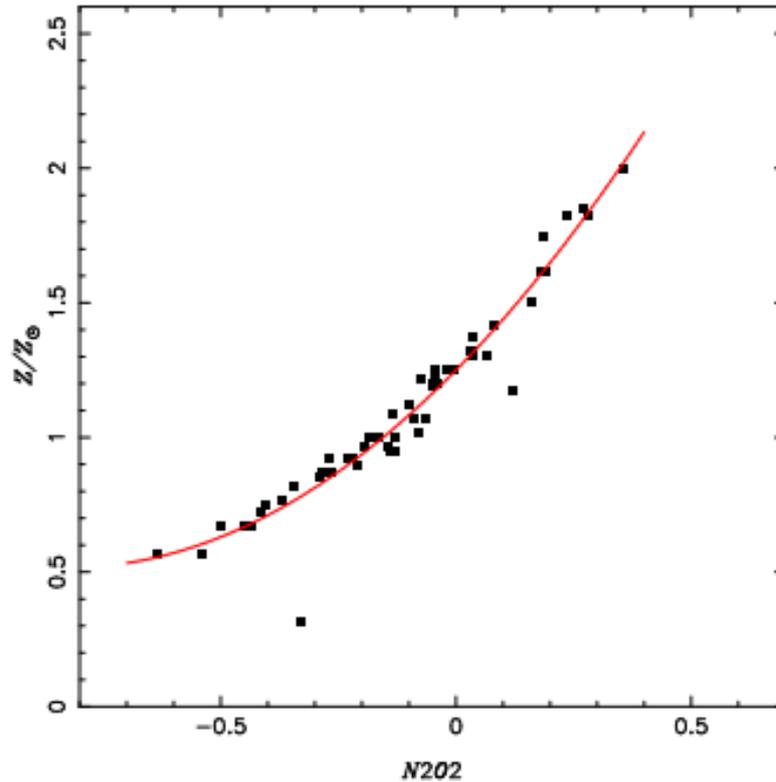
Para estimar a metalicidade desses objetos foi utilizado o índice $N2O2$

$$N2O2 = \log([\text{NII}]\lambda 6584/[\text{OII}]\lambda 3727). \quad (3.19)$$

Interpolando os valores observacionais de $N2O2$ com valores de (Z/Z_{\odot}) , mostrados na Figura 20, os autores obtiveram a seguinte equação para determinação de metalicidade:

$$(Z/Z_{\odot}) = 1,08(\pm 0,19) \times N2O2^2 + 1,78(\pm 0,07) \times N2O2 + 1,24(\pm 0,01) \quad (3.20)$$

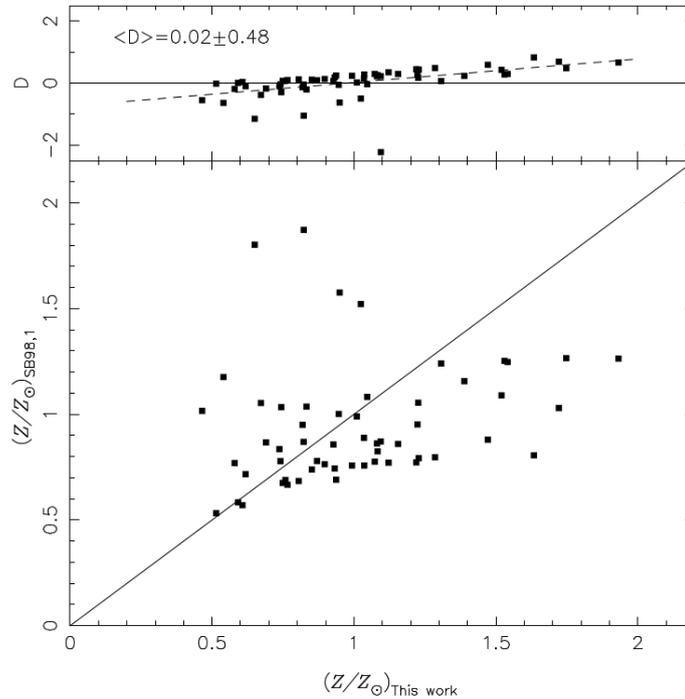
Figura 20 – (Z/Z_{\odot}) vs $O2N2$. Os pontos representam a metalicidade estimada a partir dos modelos de fotoionização, enquanto a curva representa a calibração obtida.



Fonte: [Castro et al. \(2017\)](#)

Os autores compararam as metalicidades obtidas através de seu calibrador e as obtidas pela calibração de [Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#) e verificaram que as diferenças entre as metalicidades produzidas por ambos os calibradores é da ordem de $0,02 \pm 0,48$, como pode ser notado na Figura 21.

Figura 21 – Comparação entre as metalicidades derivadas a partir da calibração de [Castro et al. \(2017\)](#) e [Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#). No painel superior é mostrada a diferença entre as metalicidades estimadas, que é da ordem de $0,02 \pm 0,48$. No painel inferior são plotados os objetos e a relação entre metalicidade obtidas utilizando-se os dois calibradores.



Fonte: [Castro et al. \(2017\)](#)

O valor de metalicidade médio de O/H obtido por [Castro et al. \(2017\)](#) corresponde a uma abundância de oxigênio de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8,70 (\pm 0,13)$. Tal valor não supera o limite superior encontrado por [Pilyugin, Vílchez e Thuan \(2006\)](#) [Pilyugin, Thuan e Vílchez \(2007\)](#) (analisando uma amostra de regiões H II), que é de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \approx 8,87$. O intervalo de estimativas da abundância de O/H usando esse calibrador é compatível com aquele encontrado usando o método de [Dors et al. \(2015\)](#), que está entre $0,6 \leq (Z/Z_{\odot}) \leq 2$ para uma amostra de galáxias Seyfert 2.

3.4 Extrapolação do gradiente

O método de extrapolação do gradiente radial de abundância para a distância galactocêntrica zero (região nuclear) fornece a abundância da intersecção central $(\text{O}/\text{H})_0$ nas galáxias e é uma prática amplamente aceita para determinar a abundância no centro da galáxia.

Basicamente esse método consiste em determinar a abundância de um elemento, e.g. O/H, em um número N estatisticamente considerável ($N > 20$) de regiões H II situadas

ao longo do disco da galáxia. Considerando que o gradiente é dado por

$$12 + \log(\text{O}/\text{H}) = (a \times R) + b \quad (3.21)$$

e R a distância galactocêntrica, abundância na região central é obtida simplesmente assumindo-se $R = 0$.

Apesar de amplamente aceita, esse método pode ser falho. [Cardaci et al. \(2018\)](#) analisaram dados de uma amostra de galáxias para as quais dados de abundância foram obtidos por medidas de temperatura e densidade eletrônica e, descobriram que ao aplicar métodos semi empíricos para determinação de abundância na região nuclear das galáxias, por meio de extrapolação, os resultados obtidos eram menores do que os resultados obtidos pelo método direto.

4 Resultados e discussões

4.1 Abundância de O/H para as regiões H II do disco e método de extrapolação

As Figuras 22, 24, 26, 28, 30, 32 e 34 apresentam o mapa 2D da abundância de O/H e o perfil radial ao longo do disco de UGC 4805, estimadas usando diferentes calibradores. Todas as estimativas de abundâncias apresentadas nesta seção foram obtidas através das calibrações de abundância para regiões H II. As Figuras 23, 25, 27, 29, 31, 33 e 35 apresentam os histogramas das abundâncias obtidas pelos diferentes calibradores.

A partir das abundâncias calculadas para as regiões H II ao longo do disco da galáxia, ajustou-se uma reta a fim de determinar a abundância na região nuclear de UGC 4805. Esse ajuste foi obtido através do método de mínimos quadrados, usando o *software* GNUPLOT¹. Na tabela 3 é mostrado os valores dos ajustes da reta obtidas para os diferentes calibradores, ou seja, o coeficiente angular da reta que corresponde ao gradiente de O/H, o coeficiente linear que representa a abundância na região central da galáxia, em $12 + \log (O/H)_{R0}$, e o coeficiente de correlação ²

O perfil da abundância de oxigênio em UGC 4805 apresenta um gradiente negativo, o que já era esperado, pois trata-se de uma galáxia do tipo espiral. O gradiente negativo é explicado naturalmente por modelos que assumem o cenário *inside-out* de formação das galáxias (PORTINARI; CHIOSI, 1999; MACARTHUR et al., 2004; BARDEN et al., 2005), onde estas começam a se formar nas regiões internas antes das regiões externas, conforme confirmado por estudos de população estelar de galáxias espirais (BOISSIER; PRANTZOS, 2000; BELL; JONG, 2000; MOLLÁ; DÍAZ, 2005; POHLEN; TRUJILLO, 2006) e por estudos fotométricos de galáxias a altos *redshifts* (TRUJILLO et al., 2003; MUÑOZ-MATEOS et al., 2007).

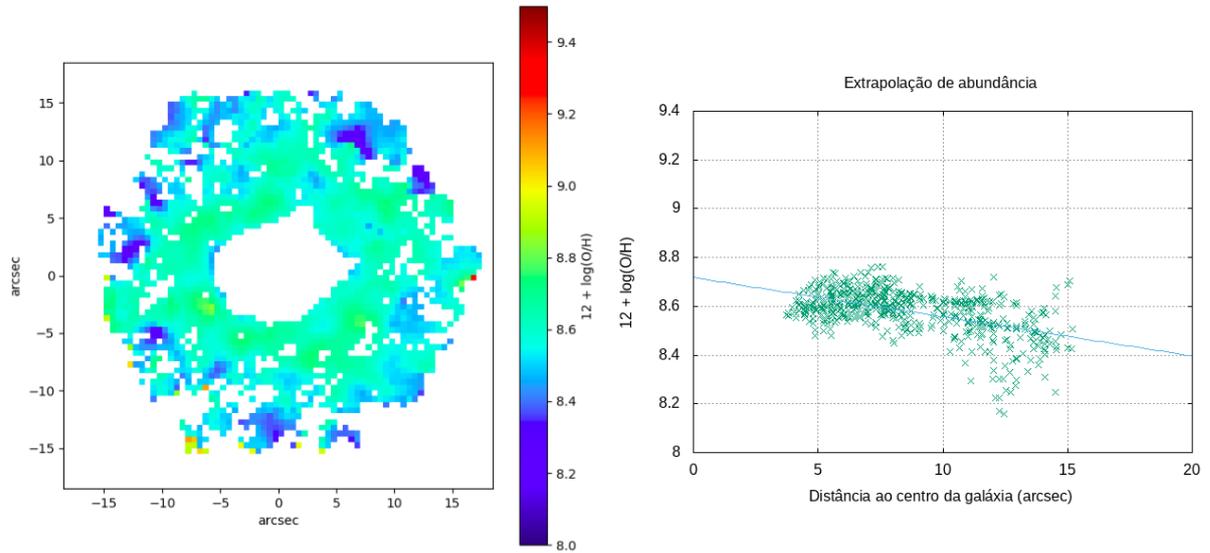
4.1.1 Calibração de Edmunds e Pagel (1984)

A Figura 22 apresenta o mapa de abundância de O/H para o disco da galáxia UGC 4805 (painel esquerdo) e o perfil radial da abundância de O/H com o ajuste de curva, obtidos a partir da calibração de Edmunds e Pagel (1984). É possível observar que esta galáxia apresenta um gradiente de abundância de oxigênio negativo.

¹ Ver: <http://www.gnuplot.info/> para maiores detalhes

² Esse parâmetro estatístico indica o grau de correlação entre a variável dependente e a independente, onde um fator de correlação igual a 1 implica na existência de uma relação linear perfeita entre as duas variáveis analisadas.

Figura 22 – Mapa 2D da abundância (painel esquerdo) e perfil radial (painel direito) de UGC 4805 usando a calibração de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#).

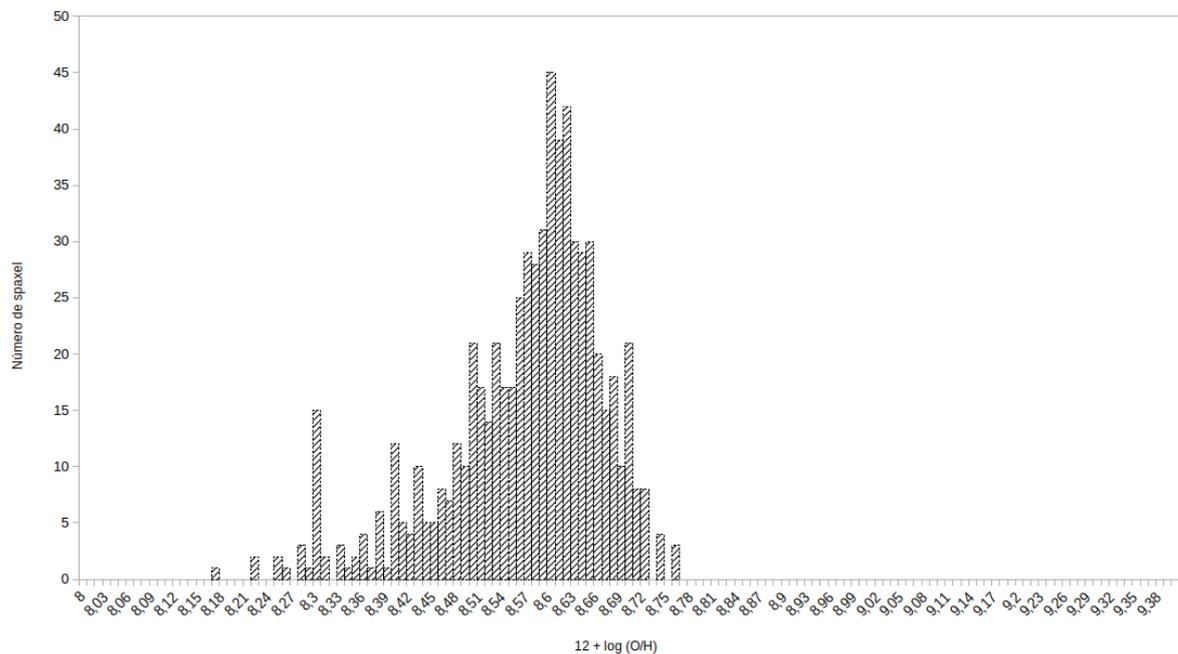


Fonte: O Autor

É possível verificar na Figura 22, que os valores de abundância variam de $8,2 < 12 + \log(\text{O}/\text{H}) < 8,8$. A abundância de O/H inferida para o núcleo da galáxia é $12 + \log(\text{O}/\text{H})_{R0} = 8,72 \pm 0,010$. É interessante notar neste gradiente de abundância de O/H, que para as regiões menores do que 5 segundos de arco, a abundância de oxigênio diminui em direção ao centro da galáxia.

Na Figura 23) é possível visualizar a distribuição das abundâncias encontradas e, nota-se que o valor da moda é da ordem de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8,6$.

Figura 23 – Histograma da distribuição da abundância de oxigênio de O/H, obtidos da calibração de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#).



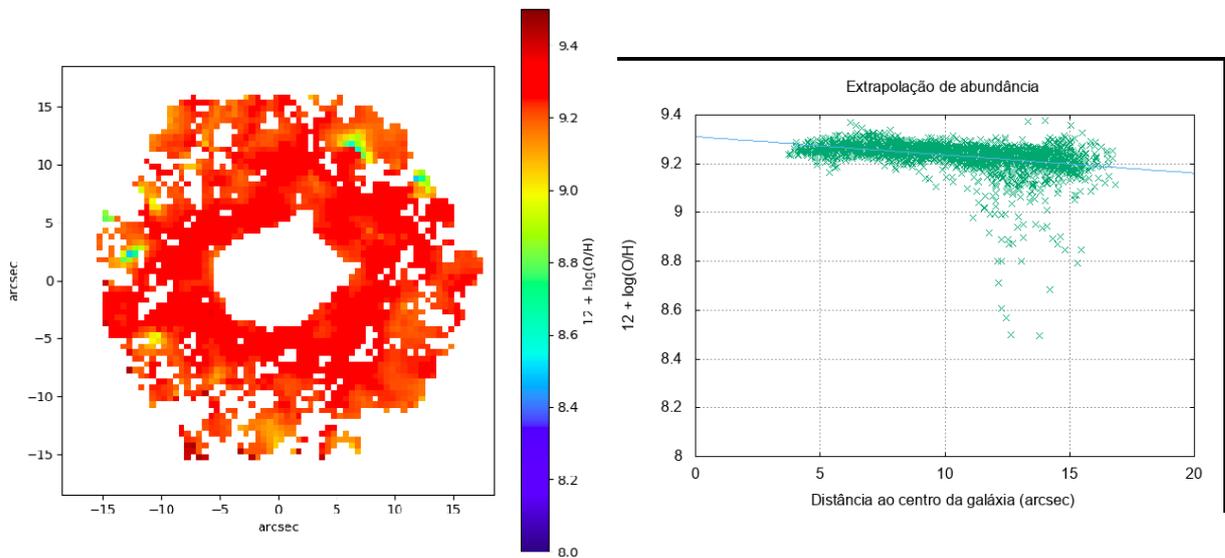
Fonte: O Autor

4.1.2 Calibração proposta por [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#)

A Figura 24 apresenta mapa 2D da abundância de O/H inferida para o disco de UGC 4805 (painel esquerdo), enquanto no painel direito é mostrado o perfil radial da abundância.

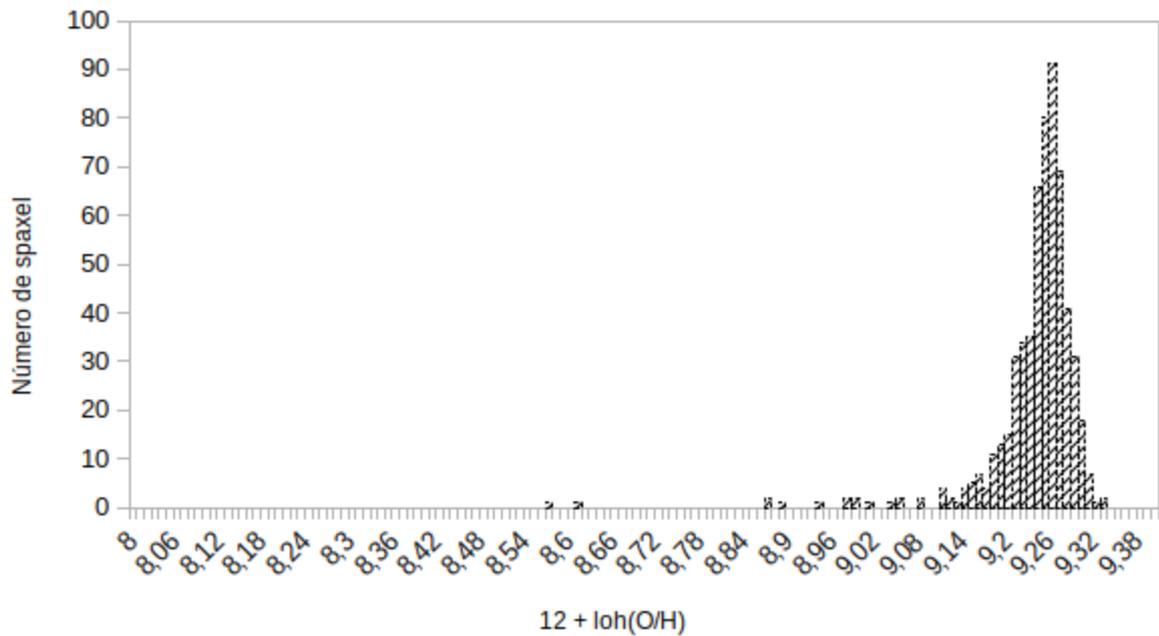
O ajuste de curva obtido para as abundâncias ao longo do disco de UGC 4805, resultantes da aplicação da calibração proposta por [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#), possui um coeficiente de correlação de 0,96. A abundância estimada para a região nuclear da galáxia é de $12 + \log(\text{O}/\text{H})_{R0} = 9,31 \pm 0,005$. Ainda, para as regiões menores do que 5 segundos de arco, a abundância de oxigênio diminui em direção ao centro da galáxia, assim como ocorre para a calibração de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#).

Figura 24 – Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de McCall, Rybski e Shields (1985)



Fonte: O Autor

Figura 25 – Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de McCall, Rybski e Shields (1985)

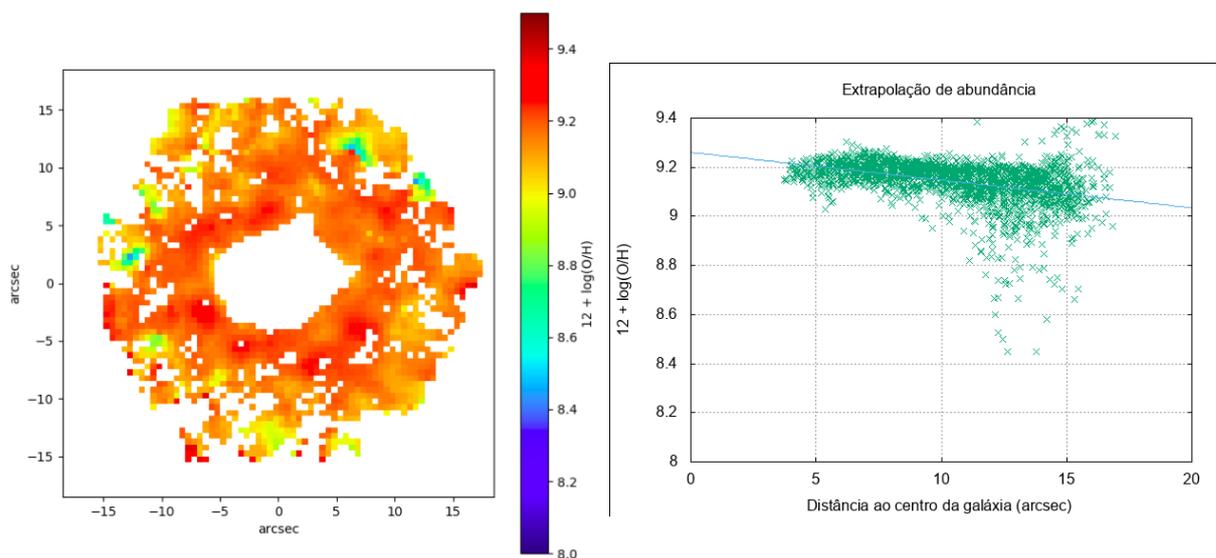


Fonte: O Autor

4.1.3 Calibração proposta por Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)

Aplicando-se a calibração proposta por Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994) obteve-se as abundâncias conforme mostrado no painel esquerdo da Figura 26. O perfil radial das abundâncias é apresentado no painel direito da mesma figura. A abundância de O/H para a região central da galáxia, através do método de extrapolação do gradiente, é de $12 + \log(O/H)_{R0} = 9,26 \pm 0,006$. Novamente, para as regiões menores do que 5 segundos de arco, a abundância de oxigênio diminui em direção ao centro da galáxia, como também é observado nos perfis de abundância obtidos pelas calibrações de Edmunds e Pagel (1984) e McCall, Rybski e Shields (1985).

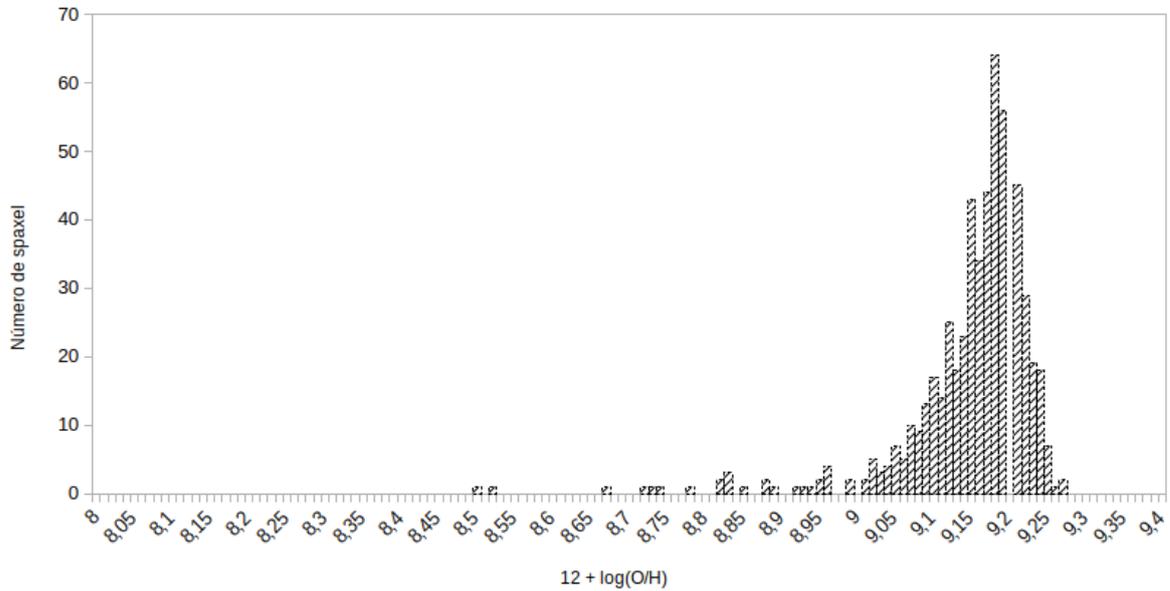
Figura 26 – Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)



Fonte: O Autor

A abundância varia entre $8,9 < 12 + \log(O/H) < 9,3$, e está em um intervalo muito próximo ao encontrado quando aplicado a calibração de McCall, Rybski e Shields (1985). O histograma da Figura 27, mostra a distribuição dos valores de abundância, com o valor da moda em torno de $12 + \log(O/H) = 9,2$.

Figura 27 – Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)



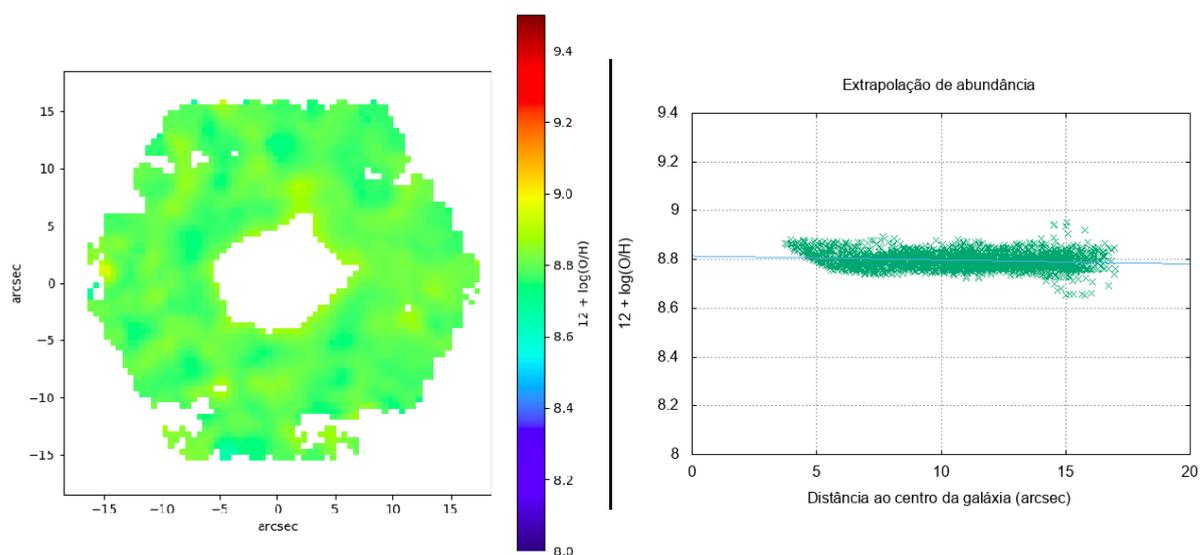
Fonte: O Autor

4.1.4 Calibração proposta por Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)

A extrapolação do gradiente radial da abundância de oxigênio, estimada a partir da calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002), resulta em uma abundância no núcleo da galáxia de $12 + \log(O/H)_{R0} = 8,81 \pm 0,002$. Diferentemente do que observado nas calibrações anteriores de Edmunds e Pagel (1984), McCall, Rybski e Shields (1985) e Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994), a abundância de oxigênio cresce em direção ao centro para regiões menores do que 5 segundos de arco.

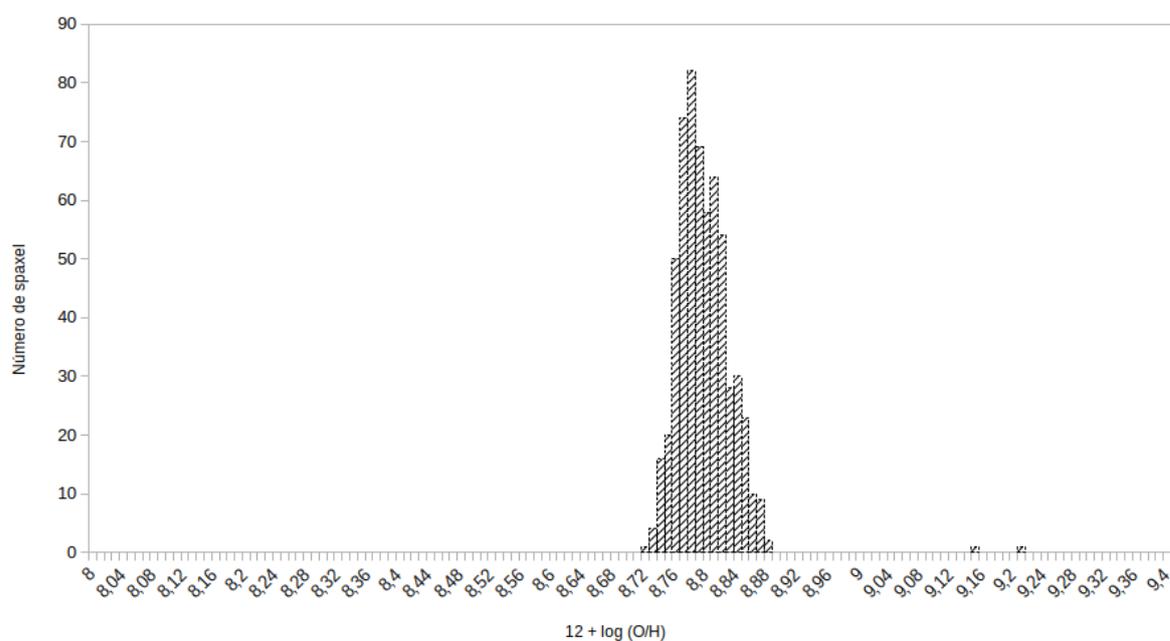
A figura 29 mostra a distribuição dos valores de abundância estimados usando a calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002).

Figura 28 – Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)



Fonte: O Autor

Figura 29 – Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)



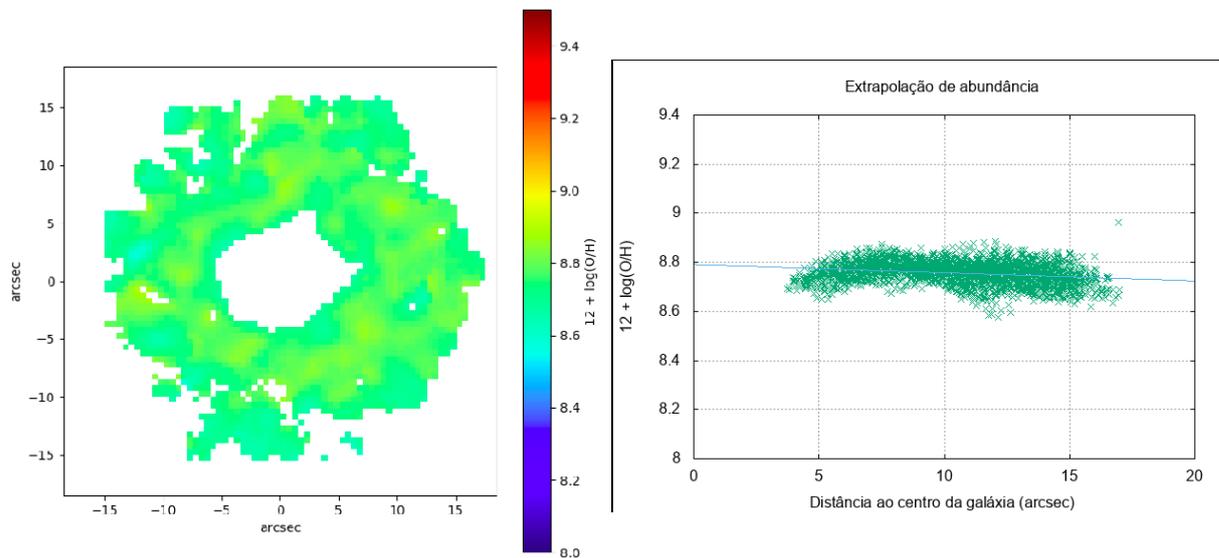
Fonte: O Autor

4.1.5 Calibração proposta por Pettini e Pagel (2004)

A abundância inferida para o núcleo da galáxia é de $12 + \log(O/H)_{R0} = 8,79 \pm 0,003$, que difere apenas em 0,02 dex do resultado obtido pela extrapolação da calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002).

Na Figura 30, é mostrado no painel esquerdo a abundância de O/H, enquanto no painel da direita é mostrado o perfil radial da abundância, bem como o ajuste de curva obtido. É interessante notar nessa figura, que para as regiões menores do que 5 segundos de arco, a abundância cresce em relação às regiões centrais. Esse comportamento é o oposto do que o observado para o perfil das abundâncias obtidas pelas calibrações de Edmunds e Pagel (1984), McCall, Rybski e Shields (1985) e Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994).

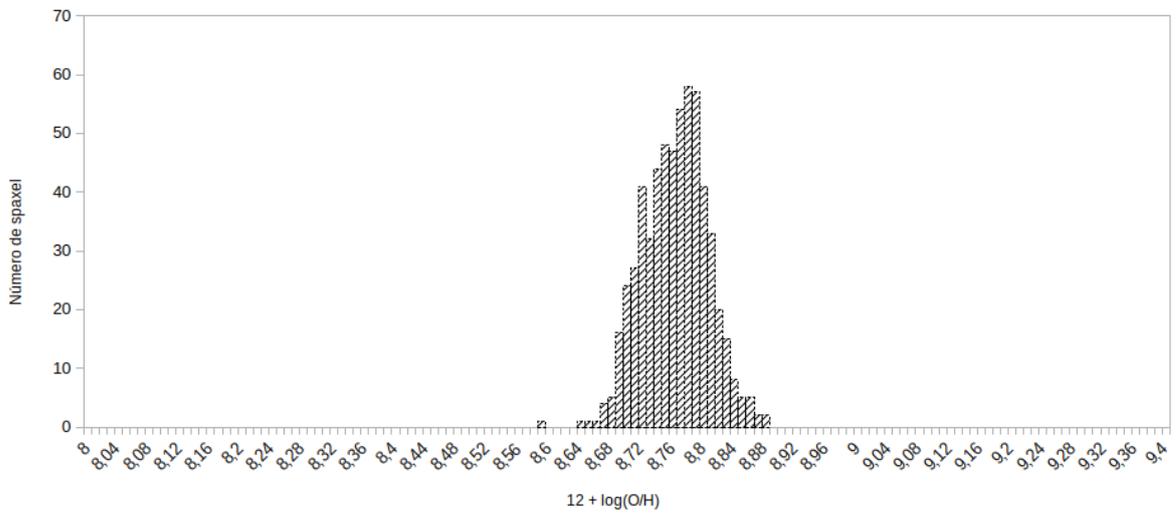
Figura 30 – Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Pettini e Pagel (2004)



Fonte: O Autor

A partir do histograma 31 é possível verificar que o valor da moda é aproximadamente $12 + \log(O/H) = 8,8$.

Figura 31 – Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Pettini e Pagel (2004)

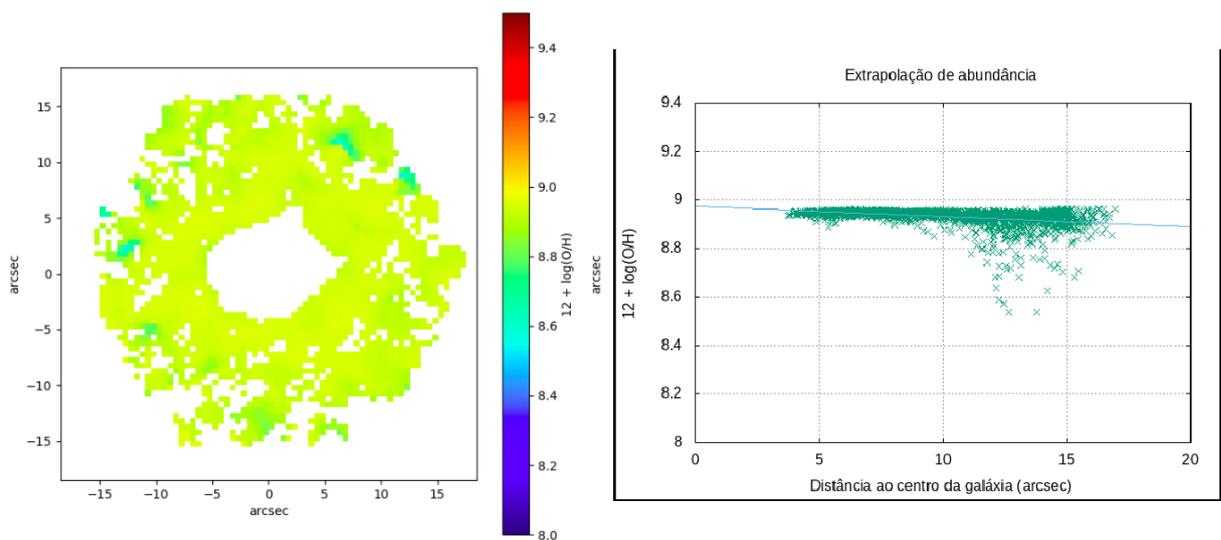


Fonte: O Autor

4.1.6 Calibração proposta por Dors e Copetti (2005)

A calibração de Dors e Copetti (2005) baseia-se no índice R_{23} e pode ser utilizada somente para o ramo superior de metalidade. Utilizando os critérios de Kewley e Ellison (2008), verificamos que nossas estimativas se encontram no ramo superior de metalidade. A Figura 32, mostra as abundâncias obtidas pela calibração de Dors e Copetti (2005).

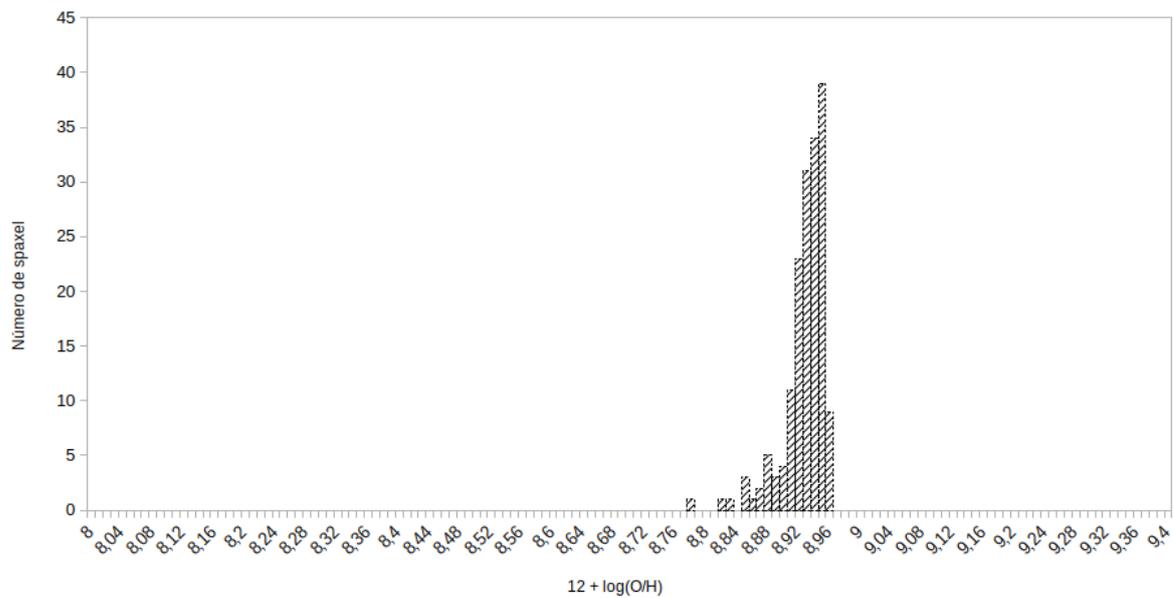
Figura 32 – Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Dors e Copetti (2005)



Fonte: O Autor

A abundância inferida para a região nuclear de UGC 4805 é $12 + \log (O/H)_{R0} = 8,98 \pm 0,003$, com uma variação entre $8,85 < 12+\log(O/H) < 9,0$. No entanto, como pode ser notado na Figura 32, muitas das nossas estimativas caem no limite superior de metalicidade para essa calibração, onde a metalicidade é praticamente constante. Conforme descrito na seção 32, esse método é válido somente para $\log(R_{23}) < 1$ (veja Figura 14, e portanto não parece ser um bom calibrador para nossas estimativas.

Figura 33 – Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Dors e Copetti (2005).

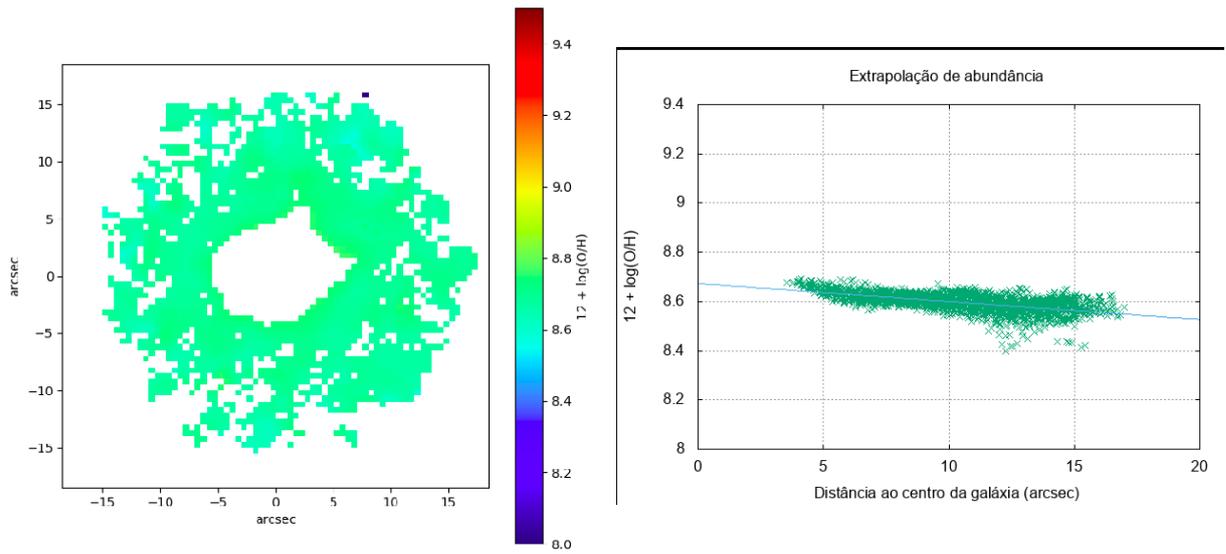


Fonte: O Autor

4.1.7 Calibração proposta por Pilyugin e Grebel (2016)

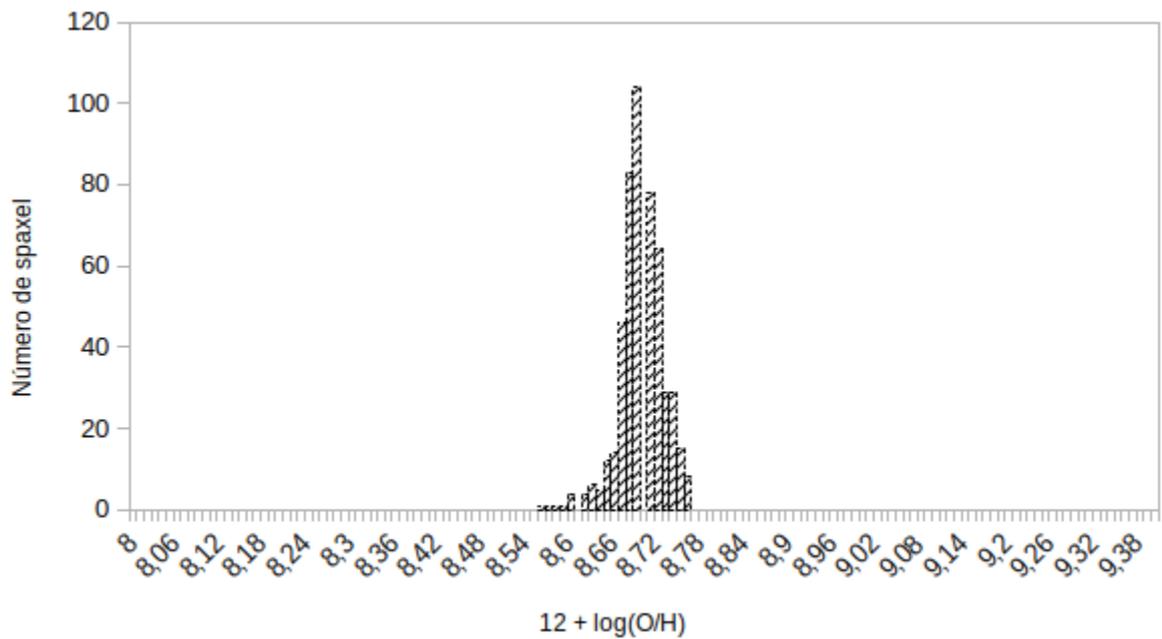
A abundância derivada a partir da calibração de Pilyugin e Grebel (2016) é mostrada na Figura 34. Nota-se uma variação de $8,5 < 12+\log(O/H) < 8,7$, com uma abundância na região central de $12 + \log (O/H)_{R0} = 8,67 \pm 0,002$. O histograma da figura 35 mostra o valor da abundância se concentrando principalmente em torno de $12 + \log(O/H) = 8,69$, muito próximo ao valor obtido por Edmunds e Pagel (1984). É interessante notar que para regiões menores do que 5 segundos de arco, existe uma "quebra" no gradiente de metalicidade, com um forte gradiente positivo em direção ao núcleo, assim como observado na calibração de Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002).

Figura 34 – Mesmo da Figura 22, porém usando a calibração de Pilyugin e Grebel (2016)



Fonte: O Autor

Figura 35 – Mesmo da Figura 23, porém usando a calibração de Pilyugin e Grebel (2016)



Fonte: O Autor

4.2 Calibração propostas para AGNs

4.2.1 Calibração proposta por [Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#)

[Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#) propuseram duas calibrações como descrito anteriormente. Tais calibrações são voltadas para AGNs e, em especial funcionam bem para núcleos Seyfert. Apesar de UGC 4805 ser uma LINER, aplicamos essas duas calibrações para o núcleo de UGC 4805, considerando uma região de aproximadamente 2 Kpc. Na tabela 2, é apresentado, para a região nuclear de UGC 4805, as intensidades das linhas de emissão corrigidas pelo avermelhamento e o valor da função de avermelhamento, $f(\lambda) - f(H\beta)$.

Tabela 2 – Intensidades das linhas corrigidas pela extinção interestelar $I(\lambda)$, para a região nuclear de UGC 4805.

Linha	$f(\lambda) - f(H\beta)$	Intensidade
[O II] $\lambda 3727$	-0,33	353,20
[O III] $\lambda 4959$	-0,02	112,08
$H\beta$ $\lambda 4861$	0.00	100.00
[O III] $\lambda 5007$	-0,04	252,10
[N II] $\lambda 6548$	-0,35	304,45
$H\alpha$ $\lambda 6562$	-0,35	28600
[N II] $\lambda 6584$	-0,34	305,82

Quando utilizada a primeira calibração, equação 3.15, que faz uso das razões $[N II]/H\alpha$ e $[O III]/H\beta$, a abundância para o núcleo da UGC 4805 é de $12 + \log(O/H) = 8,77$ e, quando utilizada a segunda calibração descrita pelos autores, equação 3.16, que utiliza as razões de linhas $\log([N II]/H\alpha)$ e $\log([O II]/[O III])$, a abundância inferida para o núcleo da UGC 4805 é de $12 + \log(O/H) = 9,33$.

Como sugerido pelos autores, sempre que possível a média dos valores de abundância encontrados através de ambas as calibrações deve ser realizada e, procedendo-se assim, o valor médio da abundância é de $12 + \log(O/H)_{R0} = 9,05$.

4.2.2 Calibração proposta por [Castro et al. \(2017\)](#)

A abundância de O/H também foi estimada para a região nuclear usando a calibração [Castro et al. \(2017\)](#) e uma metalicidade de $(Z/Z_{\odot}) = 1,12$ foi obtida, a qual corresponde a uma abundância $12 + \log(O/H)_{R0} = 9,54$. Esta estimativa é aproximadamente 0.5 dex menor do que a obtida pela calibração de [Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#).

4.3 Análise dos resultados

As abundâncias de O/H para a região nuclear da galáxia UGC 4805 foram estimadas através da extrapolação do gradiente de abundância das regiões H II ao longo do

Tabela 3 – Tabela resumo

Calibradores	$12 + \log(\text{O}/\text{H})_{R0}$	Gradiente da abundância	R	Moda	Média
<i>Edmunds e Pagel (1984)</i>	$8,72 \pm 0,010$	$-0,016 \pm 0,001$	-0,95	8,60	8,57
<i>McCall, Rybski e Shields (1985)</i>	$9,31 \pm 0,005$	$-0,007 \pm 0,0004$	-0,96	9,26	9,24
<i>Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994)</i>	$9,26 \pm 0,006$	$-0,011 \pm 0,0005$	-0,96	9,18	9,15
<i>Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002)</i>	$8,81 \pm 0,002$	$-0,002 \pm 0,0001$	-0,96	8,78	8,80
<i>Pettini e Pagel (2004)</i>	$8,79 \pm 0,003$	$-0,003 \pm 0,0002$	-0,96	8,78	8,76
<i>Dors e Copetti (2005)</i>	$8,98 \pm 0,003$	$-0,004 \pm 0,0002$	-0,96	8,95	8,93
<i>Pilyugin e Grebel (2016)</i>	$8,67 \pm 0,002$	$-0,007 \pm 0,0001$	-0,96	8,69	8,70
<i>Storchi-Bergmann et al. (1998)_m</i>	9,05	-	-	-	-
<i>Castro et al. (2017)</i>	9,54	-	-	-	-

disco da galáxia, utilizando as calibrações de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#), [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#), [Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra \(1994\)](#), [Denicoló, Terlevich e Terlevich \(2002\)](#), [Pettini e Pagel \(2004\)](#), [Dors e Copetti \(2005\)](#) e [Pilyugin e Grebel \(2016\)](#). Ainda, utilizamos os calibradores de [Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#) e [Castro et al. \(2017\)](#) propostos para AGNs, para calcular a abundância nuclear da galáxia.

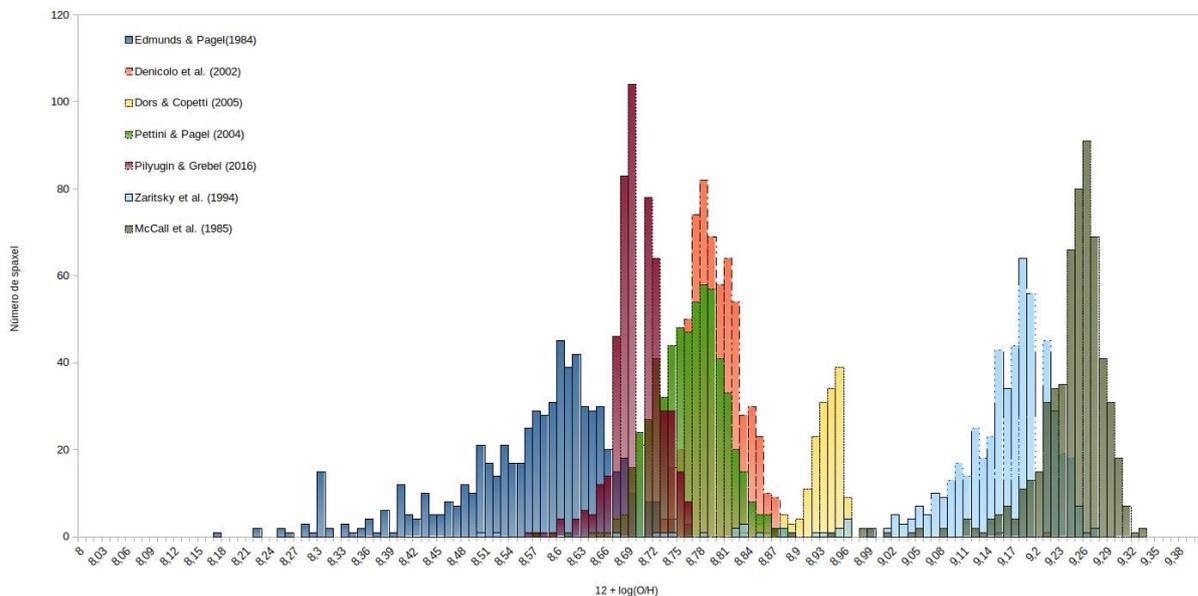
Na Figura 36 é mostrado os histogramas obtidos das abundâncias de O/H utilizando todos os calibradores para as regiões H II ao longo do disco da galáxia. É possível notar nestes histogramas que, as estimativas de O/H diferem consideravelmente de um método para o outro. Considerando todas essas calibrações, as abundâncias estão num intervalo de $8,2 < 12 + \log(\text{O}/\text{H}) < 9,35$. Dentre as calibrações para regiões H II, as de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#), [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#), [Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra \(1994\)](#) e [Dors e Copetti \(2005\)](#) são baseadas no índice R_{23} , e as estimativas de abundância também variam consideravelmente de $8,2 < 12 + \log(\text{O}/\text{H}) < 9,25$, ou seja, aproximadamente 1 dex.

Desta forma, as abundâncias no núcleo da galáxia, usando o método de extrapolação, também apresentam diferenças consideráveis. Considerando todas calibrações, uma diferença de aproximadamente 0,7 dex é estimada, o que representa um fator de aproximadamente 4 em O/H. Essas diferenças são muito maiores do que os erros das abundâncias.

No entanto, as calibrações que utilizam outras razões de linhas, isto é, de [Denicoló, Terlevich e Terlevich \(2002\)](#), [Pettini e Pagel \(2004\)](#) e [Pilyugin e Grebel \(2016\)](#) apresentam uma diferença de apenas 0.14 dex para abundância de O/H no núcleo da galáxia. Interessantemente, as estimativas de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#) são compatíveis com essas estimativas.

É importante lembrar que a calibração de [Dors e Copetti \(2005\)](#) não é indicada para esse objeto, uma vez que muitos valores das abundâncias caem no ramo superior de metalidade, o que torna as estimativas constantes.

Figura 36 – Histogramas da distribuição da abundância de O/H, obtidos para todas as calibrações de regiões H II



Fonte: O Autor

Em relação às calibrações propostas por [Storchi-Bergmann et al. \(1998\)](#) e [Castro et al. \(2017\)](#), os valores encontrados são relativamente altos, isto é, de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 9,05$ e $9,54$, respectivamente.

O maior gradiente de abundância encontrado foi de $-0,016$ utilizando a calibração de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#). Ainda, para as regiões menores do que 5 segundos de arco, uma quebra no gradiente é verificada, com dois comportamentos distintos. Para as calibrações de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#), [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#), [Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra \(1994\)](#) e [Pettini e Pagel \(2004\)](#), a abundância está diminuindo em relação ao centro, enquanto para as calibrações de [Denicoló, Terlevich e Terlevich \(2002\)](#) e [Pilyugin e Grebel \(2016\)](#), a abundância está aumentando em direção ao centro.

Estudos mostram que a determinação da abundância de oxigênio para uma determinada galáxia resultam em diferentes valores dependendo método e/ou calibrador. Por exemplo, [Maliuk e Zinchenko \(2018\)](#) verificaram que a metalicidade para uma amostra de objetos com dados no SDSS, variam em até 0.5 dex, quando diferentes calibradores são utilizados, tais como, $O3N2$ e $N2$.

Já [Hu et al. \(2018\)](#) atribuíram as diferenças encontradas ao empregar três calibradores distintos aos efeitos de flutuação de temperatura e, ao fato de uma calibração considerar efeitos do parâmetro de ionização, ao contrário das calibrações que empregam o índice $O3N2$. Outra explicação para as diferenças encontradas por esses autores é a

possível presença de gradientes de abundância dentro das regiões H II de alta metalicidade. [Mao, Lin e Kong \(2018\)](#) chegaram a conclusões semelhantes ao estudar regiões H II gigantes da NGC 2403.

5 Conclusões e perspectivas

A caracterização química de galáxias é fundamental para a compreensão da evolução desses objetos e, por consequência, para a compreensão da evolução química do Universo. O método mais confiável para se determinar a abundância química de um dado elemento, chamado de Método - T_e . No entanto, esse método não pode ser utilizado para determinar a abundância da galáxia LINER UGC 4805, pois as linhas [O III] $\lambda 4363$ e [N II] $\lambda 5755$, não foram detectadas em nossos espectros.

Um método alternativo ao Método - T_e é o chamado Método das linhas fortes e, consiste em estabelecer uma relação (calibração) entre a abundância de um dado elemento e razões de linhas que são facilmente observadas no espectro do objeto estudado. Existem várias calibrações para a determinação da abundância química em regiões de formação estelar, todavia para os AGNs esses calibradores são escassos, estando disponíveis na literatura apenas três calibradores, e em sua maioria, são destinados para Seyfert do tipo 2.

Este trabalho apresenta um estudo da abundância química de oxigênio na galáxia LINER UGC 4805. Os dados utilizados compreendem espectros no intervalo de comprimento de onda de 3600 Å a 10000 Å, com uma resolução de $R \sim 2000$, obtidos com o SDSS-IV MaNGA. Foram utilizadas sete calibrações disponíveis na literatura para estimar a abundância de oxigênio e regiões de formação estelar ao longo do disco da galáxia e a abundância do núcleo da galáxia, foi obtida da extrapolação do gradiente de abundância obtido dessas regiões H II. Ainda, dois calibradores para AGNs foram utilizados para a determinação de O/H no núcleo da galáxia. As principais conclusões são as seguintes:

- Uma abundância média de O/H de $12 + \log(\text{O}/\text{H})_{R0} = 9,01$, foi obtida para o núcleo de UGC 4805, considerando todos os calibradores analisados nesse trabalho.
- Considerando todas as calibrações analisadas neste trabalho, as estimativas de abundâncias para as regiões H II ao longo do disco da galáxia estão num intervalo de $8,2 < 12 + \log(\text{O}/\text{H}) < 9,35$. Dentre as calibrações para regiões H II, as de [Edmunds e Pagel \(1984\)](#), [McCall, Rybski e Shields \(1985\)](#), [Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra \(1994\)](#) e [Dors e Copetti \(2005\)](#) são baseadas no índice R_{23} , e as estimativas de abundância também variam consideravelmente de $8,2 < 12 + \log(\text{O}/\text{H}) < 9,25$, ou seja, aproximadamente 1 dex.
- Os valores de abundância determinadas para o núcleo de UGC 4805 diferem consideravelmente de um método para outro, com diferença de aproximadamente 0,7 dex, o

que corresponde um fator de aproximadamente 4 em O/H. Quanto às diferenças encontradas, as calibrações que se baseiam em R_{23} (Edmunds e Pagel (1984), McCall, Rybski e Shields (1985), Zaritsky, Kennicutt Jr. e Huchra (1994) e Dors e Copetti (2005)) produziram diferença de aproximadamente 1 dex, enquanto as calibrações baseadas em outras razões de linha (Denicoló, Terlevich e Terlevich (2002), Pettini e Pagel (2004) e Pilyugin e Grebel (2016)) produziram resultados cuja diferença é de apenas 0,14 dex. Vale destacar que a estimativa de O/H, obtida a partir de Edmunds e Pagel (1984), que mesmo utilizando R_{23} gerou resultados compatíveis aos resultados obtidos a partir dos demais índices.

- Os resultados obtidos nesse trabalho, mostram que a determinação da abundância química é completamente dependente do método utilizado e que variações significativas são encontradas quando diferentes métodos são usados. A possível continuação deste estudo pretende incluir uma amostra significativa de galáxias do tipo LINER e desta forma contribuir para a melhor determinação da abundância química destes objetos, culminando com a proposta de um calibrador para estimar a abundância de O/H em núcleos tipo LINER.

Referências

- ALLOIN, D.; COLLIN-SOUFFRIN, S.; JOLY, M.; VIGROUX, L. Nitrogen and oxygen abundances in galaxies. *Astronomy & Astrophysics*, v. 78, p. 200–216, set. 1979.
- ASARI, N. V.; FERNANDES, R. C.; STASIŃSKA, G.; TORRES-PAPAQUI, J. P.; MATEUS, A.; SODRÉ, L.; SCHOENELL, W.; GOMES, J. M. The history of star-forming galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 381, p. 263–279, out. 2007.
- BALDWIN, J. A.; PHILLIPS, M. M.; TERLEVICH, R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. *Astronomical Society of the Pacific*, v. 93, p. 5–19, fev. 1981.
- BARDEN, M.; RIX, H.-W.; SOMERVILLE, R. S.; BELL, E. F.; HÄUSSLER, B.; PENG, C. Y.; BORCH, A.; BECKWITH, S. V. W.; CALDWELL, J. A. R.; HEYMANS, C.; JAHNKE, K.; JOGEE, S.; MCINTOSH, D. H.; MEISENHEIMER, K.; SÁNCHEZ, S. F.; WISOTZKI, L.; WOLF, C. GEMS: The Surface Brightness and Surface Mass Density Evolution of Disk Galaxies. *The Astrophysical Journal*, v. 635, n. 2, p. 959–981, Dec 2005.
- BELL, E. F.; JONG, R. S. The stellar populations of spiral galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 312, n. 3, p. 497–520, Mar 2000.
- BINETTE, L.; MAGRIS, C. G.; STASIŃSKA, G.; BRUZUAL, A. G. Photoionization in elliptical galaxies by old stars. *Astronomy & Astrophysics*, v. 292, p. 13–19, dez. 1994.
- BOISSIER, S.; PRANTZOS, N. Chemo-spectrophotometric evolution of spiral galaxies: colour and abundance gradients. In: Franco, J.; Terlevich, L.; López-Cruz, O.; Aretxaga, I. (Ed.). *Cosmic Evolution and Galaxy Formation: Structure, Interactions, and Feedback*. [S.l.: s.n.], 2000. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 215), p. 53.
- BREMER, M.; SCHARWÄCHTER, J.; ECKART, A.; VALENCIA-S., M.; ZUTHER, J.; COMBES, F.; GARCIA-BURILLO, S.; FISCHER, S. What produces the extended LINER-type emission in the NUGA galaxy <ASTROBJ>NGC 5850</ASTROBJ>? *Astronomy & Astrophysics*, v. 558, p. A34, out. 2013.
- 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.; BERSHADY, M. A.; LAW, D. R.; YAN, R.; DRORY, N.; MACDONALD, N.; WAKE, D. A.; CHERINKA, B.; SÁNCHEZ-GALLEGO, J. R.; WEIJMANS, A.-M.; THOMAS, D.; TREMONTI.
- CARDACI, M. V.; HÄGELE, G. F.; DÍAZ, A. I.; RODRÍGUEZ-PASCUAL, P.; SANTOS-LLEÓ, M.; DORS, O. L. Metal content in the central region of galaxies. In: *Chemical Abundances in Gaseous Nebulae*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 59.
- CASTRO, C. S.; DORS, O. L.; CARDACI, M. V.; HÄGELE, G. F. New metallicity calibration for Seyfert 2 galaxies based on the N2O2 index. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 467, p. 1507–1514, maio 2017.

- DENICOLÓ, G.; TERLEVICH, R.; TERLEVICH, E. New light on the search for low-metallicity galaxies - I. The N2 calibrator. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 330, p. 69–74, fev. 2002.
- DOPITA, M. A.; EVANS, I. N. Theoretical models for H II regions. II - The extragalactic H II region abundance sequence. *Astrophysical Journal*, v. 307, p. 431–440, ago. 1986.
- DOPITA, M. A.; KORATKAR, A. P.; EVANS, I. N.; ALLEN, M.; BICKNELL, G. V.; SUTHERLAND, R. S.; HAWLEY, J. F.; SADLER, E. Shock Excitation of LINERs. v. 103, p. 44, 1996.
- DORS, O. L.; CARDACI, M. V.; HÄGELE, G. F.; KRABBE, A. C. Metallicity evolution of AGNs from UV emission lines based on a new index. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 443, p. 1291–1300, set. 2014.
- DORS, O. L.; CARDACI, M. V.; HÄGELE, G. F.; RODRIGUES, I.; GREBEL, E. K.; PILYUGIN, L. S.; FREITAS-LEMES, P.; KRABBE, A. C. On the central abundances of active galactic nuclei and star-forming galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 453, p. 4102–4111, nov. 2015.
- DORS, O. L.; COPETTI, M. V. F. Abundance gradients in a sample of barred spiral galaxies. *Astronomy & Astrophysics*, v. 437, p. 837–847, jul. 2005.
- EDMUNDS, M. G.; PAGEL, B. E. J. On the composition of H II regions in southern galaxies. III - NGC 2997 and 7793. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 211, p. 507–519, dez. 1984.
- FERLAND, G. J.; NETZER, H. Are there any shock-heated galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 264, p. 105–113, jan. 1983.
- FERNANDES, R. C.; DELGADO, R. M. G.; SCHMITT, H.; STORCHI-BERGMANN, T.; MARTINS, L. P.; PÉREZ, E.; HECKMAN, T.; LEITHERER, C.; SCHAEERER, D. The Stellar Populations of Low-Luminosity Active Galactic Nuclei. I. Ground-based Observations. *The Astrophysical Journal*, v. 605, p. 105–126, abr. 2004.
- FERNANDES, R. C.; MATEUS, A.; SODRÉ, L.; STASIŃSKA, G.; GOMES, J. M. Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - I. Spectral synthesis method. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 358, p. 363–378, abr. 2005.
- HAGELE, G. F.; DÍAZ, Á. I.; TERLEVICH, E.; TERLEVICH, R.; PÉREZ-MONTERO, E.; CARDACI, M. V. Precision abundance analysis of bright HII galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 383, p. 209–229, jan. 2008.
- HALPERN, J. P.; STEINER, J. E. Low-ionization active galactic nuclei - X-ray or shock heated? *Astrophysical Journal*, v. 269, p. L37–L41, jun. 1983.
- HECKMAN, T. M. An optical and radio survey of the nuclei of bright galaxies - Activity in normal galactic nuclei. *Astronomy & Astrophysics*, v. 87, p. 152–164, jul. 1980.
- HEYER, M. H.; SCHLOERB, F. P. Application of Principal Component Analysis to Large-Scale Spectral Line Imaging Studies of the Interstellar Medium. *Astrophysical Journal*, v. 475, n. 1, p. 173–187, Jan 1997.

- HO, L. C. Nuclear Activity in Nearby Galaxies. *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, v. 46, p. 475–539, set. 2008.
- HU, N.; WANG, E.; LIN, Z.; KONG, X.; CHENG, F.; FAN, Z.; FANG, G.; LIN, L.; MAO, Y.; WANG, J.; ZHOU, X.; ZHOU, Z.; ZHU, Y.; ZOU, H. M101: Spectral observations of H II regions and their physical properties. *The Astrophysical Journal*, American Astronomical Society, v. 854, n. 1, p. 68, fev 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa6ca>>.
- HUMMER, D. G.; STOREY, P. J. Recombination-line intensities for hydrogenic ions. I - Case B calculations for H I and He II. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 224, p. 801–820, fev. 1987.
- KAUFFMANN, G.; HECKMAN, T. M.; TREMONTI, C.; BRINCHMANN, J.; CHARLOT, S.; WHITE, S. D. M.; RIDGWAY, S. E.; BRINKMANN, J.; FUKUGITA, M.; HALL, P. B.; IVEZIĆ, Ž.; RICHARDS, G. T.; SCHNEIDER, D. P. The host galaxies of active galactic nuclei. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 346, p. 1055–1077, dez. 2003.
- KEWLEY, L.; ELLISON, S. Metallicity calibrations and the mass-metallicity relation for star-forming galaxies. *The Astrophysical Journal*, IOP Publishing, v. 681, n. 2, p. 1183–1204, jul 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1086/2F587500>>.
- KEWLEY, L. J.; DOPITA, M. A. Using Strong Lines to Estimate Abundances in Extragalactic H II Regions and Starburst Galaxies. *Astrophysical Journals*, v. 142, p. 35–52, set. 2002.
- KEWLEY, L. J.; DOPITA, M. A.; SUTHERLAND, R. S.; HEISLER, C. A.; TREVENA, J. Theoretical Modeling of Starburst Galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 556, p. 121–140, jul. 2001.
- KEWLEY, L. J.; GROVES, B.; KAUFFMANN, G.; HECKMAN, T. The host galaxies and classification of active galactic nuclei. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 372, p. 961–976, nov. 2006.
- KHACHIKIAN, E. Y.; WEEDMAN, D. W. An atlas of Seyfert galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 192, p. 581–589, set. 1974.
- KRABBE, A. C. *Flutuação de temperatura eletrônica na região HII de 30 Doradus*. 53 p. Dissertação (Mestrado em Física) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.
- KUMARI, N.; MAIOLINO, R.; BELFIORE, F.; CURTI, M. Metallicity calibrations for diffuse ionized gas and low-ionization emission regions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 485, n. 1, p. 367–381, May 2019.
- LAKICEVIC, M.; OPOVIĆ, L. Č.; KOVAČEVIĆ-DOJČINOVIĆ, J. Narrow vs. broad-line Seyfert 1 galaxies: X-ray, optical, and mid-infrared AGN characteristics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 478, p. 4068–4083, ago. 2018.
- LOPEZ-SANCHEZ, A. R.; ESTEBAN, C. Massive star formation in Wolf-Rayet galaxies: IV b. Using empirical calibrations to compute the oxygen abundance. *arXiv e-prints*, abr. 2010.

- MACARTHUR, L. A.; COURTEAU, S.; BELL, E.; HOLTZMAN, J. A. Structure of Disk-dominated Galaxies. II. Color Gradients and Stellar Population Models. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 152, n. 2, p. 175–199, Jun 2004.
- MALIUK, A. A.; ZINCHENKO, I. A. Metallicity calibrations and oxygen abundance evolution in massive galaxies. *Advances in Astronomy and Space Physics*, v. 8, p. 24–27, Sep 2018.
- MANGA, S.-I. *Index of sas*. 2019. Disponível em: <https://data.sdss.org/sas/dr14-/manga/spectro/redux/v2_1_2/8249/stack/images/>.
- _____. *MaNGA Technical Details*. 2019. Disponível em: <<https://www.sdss.org/surveys-/manga/MaNGATEchnicalDetails>>.
- MAO, Y.-W.; LIN, L.; KONG, X. Internal Variations in Empirical Oxygen Abundances for Giant H II Regions in the Galaxy NGC 2403. *The Astrophysical Journal*, v. 853, n. 2, p. 151, Feb 2018.
- MATEUS, A.; SODRÉ, L.; FERNANDES, R. C.; STASIŃSKA, G.; SCHOENELL, W.; GOMES, J. M. Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - II. The bimodality of the galaxy population revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 370, p. 721–737, ago. 2006.
- MCCALL, M. L.; RYBSKI, P. M.; SHIELDS, G. A. The chemistry of galaxies. I - The nature of giant extragalactic H II regions. *Astrophysical Journals*, v. 57, p. 1–62, jan. 1985.
- MCGAUGH, S. S. H II region abundances - Model oxygen line ratios. *Astrophysical Journal*, v. 380, p. 140–150, out. 1991.
- MOLLÁ, M.; DÍAZ, A. I. A grid of chemical evolution models as a tool to interpret spiral and irregular galaxies data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 358, n. 2, p. 521–543, Apr 2005.
- MOREIRA, T. *Análise da influência ambiental sobre galáxias de núcleo ativo usando o levantamento MaNGA*. 66 p. Dissertação (Mestrado em Física) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- MORTLOCK, D. J.; WARREN, S. J.; VENEMANS, B. P.; PATEL, M.; HEWETT, P. C.; MCMAHON, R. G.; SIMPSON, C.; THEUNS, T.; GONZÁLES-SOLARES, E. A.; ADAMSON, A.; DYE, S.; HAMBLY, N. C.; HIRST, P.; IRWIN, M. J.; KUIPER, E.; LAWRENCE, A.; RÖTTGERING, H. J. A. A luminous quasar at a redshift of $z = 7.085$. *Nature*, v. 474, n. 7353, p. 616–619, Jun 2011.
- MUÑOZ-MATEOS, J. C.; PAZ, A. Gil de; BOISSIER, S.; ZAMORANO, J.; JARRETT, T.; GALLEGRO, J.; MADORE, B. F. Specific Star Formation Rate Profiles in Nearby Spiral Galaxies: Quantifying the Inside-Out Formation of Disks. *The Astrophysical Journal*, v. 658, n. 2, p. 1006–1026, Apr 2007.
- NAGAO, T.; MAIOLINO, R.; MARCONI, A. Gas metallicity diagnostics in star-forming galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, v. 459, n. 1, p. 85–101, Nov 2006.
- NASA, E. . *Best image of bright quasar 3C 273*. 2013. Disponível em: <<https://www.spacetelescope.org/images/potw1346a/>>.

- NASA, K. . *The Sombrero Galaxy in Infrared*. Disponível em: <<https://apod.nasa.gov/apod/ap190101.html>>.
- NETZER, H. *The Physics and Evolution of Active Galactic Nuclei*. [S.l.: s.n.], 2013.
- NILSON, P. Uppsala General Catalogue of Galaxies, 1973, Acta Universitatis Upsalienis, Nova Regiae Societatis Upsaliensis, Series v: a Vol. *Nova Acta Regiae Soc. Sci. Upsaliensis Ser. V*, p. 0, Jan 1973.
- NRAO. *Radio Galaxy 3C219*. 1999. Disponível em: <<https://www.cv.nrao.edu/~abridle/3c219.htm>>.
- OSTERBROCK, D. *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*. [S.l.]: Mill Valley, 1989.
- PADOVANI, P.; ALEXANDER, D. M.; ASSEF, R. J.; MARCO, B. D.; GIOMMI, P.; HICKOX, R. C.; RICHARDS, G. T.; SMOLČIĆ, V.; HATZIMINAOGLOU, E.; MAINIERI, V.; SALVATO, M. Active galactic nuclei: what's in a name? *Astronomy and Astrophysics Reviews*, v. 25, n. 1, p. 2, Aug 2017.
- PAGEL, B. E. J.; EDMUNDS, M. G.; BLACKWELL, D. E.; CHUN, M. S.; SMITH, G. On the composition of H II regions in southern galaxies. I - NGC 300 and 1365. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 189, p. 95–113, out. 1979.
- PALACIOS, J.; GARCIA-VARGAS, M. L.; DIAZ, A.; TERLEVICH, R.; TERLEVICH, E. Kinematics and stellar populations in active galaxies: the LINER NGC 4579 (M58). *Astronomy & Astrophysics*, v. 323, p. 749–761, jul. 1997.
- PENNY, S. J.; MASTERS, K. L.; SMETHURST, R.; NICHOL, R. C.; KRAWCZYK, C. M.; BIZYAEV, D.; GREENE, O.; LIU, C.; MARINELLI, M.; REMBOLD, S. B.; RIFFEL, R. A.; ILHA, G. d. S.; WYLEZALEK, D.; ANDREWS, B. H.; BUNDY, K.; DRORY, N.; ORAVETZ, D.; PAN, K. SDSS-IV MaNGA: evidence of the importance of AGN feedback in low-mass galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 476, p. 979–998, maio 2018.
- PETTINI, M.; PAGEL, B. E. J. [OIII]/[NII] as an abundance indicator at high redshift. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 348, p. L59–L63, mar. 2004.
- PILYUGIN, L. S. Oxygen abundances in dwarf irregular galaxies and the metallicity-luminosity relationship. *Astronomy & Astrophysics*, v. 374, p. 412–420, ago. 2001.
- _____. The oxygen abundance distribution in M 101. *Astronomy & Astrophysics*, v. 373, p. 56–62, jul. 2001.
- PILYUGIN, L. S.; GREBEL, E. K. New calibrations for abundance determinations in H II regions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 457, p. 3678–3692, abr. 2016.
- PILYUGIN, L. S.; GREBEL, E. K.; MATTSSON, L. 'Counterpart' method for abundance determinations in H II regions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 424, p. 2316–2329, ago. 2012.

- PILYUGIN, L. S.; THUAN, T. X.; VÍLCHEZ, J. M. Oxygen abundances in the most oxygen-rich spiral galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 367, p. 1139–1146, abr. 2006.
- _____. On the maximum value of the cosmic abundance of oxygen and the oxygen yield. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 376, p. 353–360, mar. 2007.
- PILYUGIN, L. S.; VÍLCHEZ, J. M.; CONTINI, T. Oxygen and nitrogen abundances in nearby galaxies. Correlations between oxygen abundance and macroscopic properties. *Astronomy and Astrophysics*, v. 425, p. 849–869, Oct 2004.
- PILYUGIN, L. S.; VÍLCHEZ, J. M.; THUAN, T. X. On the relation between electron temperatures in the O^+ and O^{++} zones in high-metallicity HII regions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 370, p. 1928–1934, ago. 2006.
- POHLEN, M.; TRUJILLO, I. The structure of galactic disks. Studying late-type spiral galaxies using SDSS. *Astronomy and Astrophysics*, v. 454, n. 3, p. 759–772, Aug 2006.
- PORTINARI, L.; CHIOSI, C. On star formation and chemical evolution in the Galactic disc. *Astronomy and Astrophysics*, v. 350, p. 827–839, Oct 1999.
- RICCI, T. V.; STEINER, J. E.; MENEZES, R. B. NGC 7097: The Active Galactic Nucleus and its Mirror, Revealed by Principal Component Analysis Tomography. *Astrophysical Journal*, v. 734, n. 1, p. L10, Jun 2011.
- _____. IFU spectroscopy of 10 early-type galactic nuclei - II. Nuclear emission line properties. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 440, p. 2442–2456, maio 2014.
- _____. Integral field unit spectroscopy of 10 early-type galactic nuclei - I. Principal component analysis Tomography and nuclear activity. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 440, p. 2419–2441, maio 2014.
- _____. IFU spectroscopy of 10 early-type galactic nuclei - III. Properties of the circumnuclear gas emission. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 451, p. 3728–3758, ago. 2015.
- RODRIGUEZ-PASCUAL, P. M.; MAS-HESSE, J. M.; SANTOS-LLEO, M. The broad line region of narrow-line Seyfert 1 galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, v. 327, p. 72–80, nov. 1997.
- SAVAGE, B. D.; MATHIS, J. S. Observed properties of interstellar dust. *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, v. 17, p. 73–111, 1979.
- SCHNEIDER, P. *Extragalactic astronomy and cosmology: an introduction*. [S.l.: s.n.], 2014.
- SEYFERT, C. K. Nuclear Emission in Spiral Nebulae. *Astrophysical Journal*, v. 97, p. 28, jan. 1943.
- SHIELDS, J. C. Normal O stars in dense media generate LINERs. *Astrophysical Journal*, v. 399, p. L27–L30, nov. 1992.

- SINGH, R.; VEN, G. van de; JAHNKE, K.; LYUBENOVA, M.; FALCÓN-BARROSO, J.; ALVES, J.; FERNANDES, R. C.; GALBANY, L.; GARCÍA-BENITO, R.; HUSEMANN, B.; KENNICUTT, R. C.; MARINO, R. A.; MÁRQUEZ, I.; MASEGOSA, J.; MAST, D.; PASQUALI, A.; SÁNCHEZ, S. F.; WALCHER, J.; WILD, V.; WISOTZKI, L.; ZIEGLER, B. The nature of LINER galaxies: Ubiquitous hot old stars and rare accreting black holes. *Astronomy & Astrophysics*, v. 558, p. A43, out. 2013.
- STASIŃSKA, G.; ASARI, N. V.; FERNANDES, R. C.; GOMES, J. M.; SCHLICKMANN, M.; MATEUS, A.; SCHOENELL, W.; SODRÉ L., J.; COLLABORATION) (the S. Can retired galaxies mimic active galaxies? Clues from the Sloan Digital Sky Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, v. 391, n. 1, p. L29–L33, 11 2008.
- STEINER, J. E.; MENEZES, R. B.; RICCI, T. V.; OLIVEIRA, A. S. PCA Tomography: how to extract information from data cubes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 395, p. 64–75, maio 2009.
- STORCHI-BERGMANN, T.; CALZETTI, D.; KINNEY, A. L. Ultraviolet to near-infrared spectral distributions of star-forming galaxies: Metallicity and age effects. *Astrophysical Journal*, v. 429, p. 572–581, jul. 1994.
- STORCHI-BERGMANN, T.; RODRIGUEZ-ARDILA, A.; SCHMITT, H. R.; WILSON, A. S.; BALDWIN, J. A. Circumnuclear Star Formation in Active Galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 472, p. 83, Nov 1996.
- STORCHI-BERGMANN, T.; SCHMITT, H. R.; CALZETTI, D.; KINNEY, A. L. Chemical Abundance Calibrations for the Narrow-Line Region of Active Galaxies. *Astronomical Journal*, v. 115, p. 909–914, mar. 1998.
- STOREY, P. J.; ZEIPPEN, C. J. Theoretical values for the [OIII] 5007/4959 line-intensity ratio and homologous cases. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 312, n. 4, p. 813–816, Mar 2000.
- TANIGUCHI, Y.; SHIOYA, Y.; MURAYAMA, T. Poststarburst Models of LINERS. *The Astronomical Journal*, v. 120, p. 1265–1272, set. 2000.
- TERLEVICH, R.; MELNICK, J. Warmers - The missing link between Starburst and Seyfert galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 213, p. 841–856, abr. 1985.
- TRUJILLO, I.; GUTIÉRREZ, C. M.; ALFONSO, J.; AGUERRI, J. A. L.; CEPÁ, J. Quantitative Morphological Analysis of Galaxies at Intermediate Red Shift: Clues to Galaxy Evolution. In: Rodríguez Espinoza, J. M.; Garzon Lopez, F.; Melo Martín, V. (Ed.). *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 16, p. 315–316.
- VILA-COSTAS, M. B.; EDMUNDS, M. G. The relation between abundance gradients and the physical properties of spiral galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 259, p. 121–145, nov. 1992.
- WINKLER, H. Line, LINER, linest - from micro-AGN to ultra-luminous LINERs. One and the same? *arXiv e-prints*, set. 2014.

WOO, J.-H.; URRY, C. M. Active Galactic Nucleus Black Hole Masses and Bolometric Luminosities. *Astrophysical Journal*, v. 579, p. 530–544, nov. 2002.

WYLEZALEK, D.; ZAKAMSKA, N. L.; GREENE, J. E.; RIFFEL, R. A.; DRORY, N.; ANDREWS, B. H.; MERLONI, A.; THOMAS, D. SDSS-IV MaNGA: identification of active galactic nuclei in optical integral field unit surveys. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 474, p. 1499–1514, fev. 2018.

YAN, R.; BLANTON, M. R. The Nature of LINER-like Emission in Red Galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 747, p. 61, mar. 2012.

ZARITSKY, D.; KENNICUTT JR., R. C.; HUCHRA, J. P. H II regions and the abundance properties of spiral galaxies. *Astrophysical Journal*, v. 420, p. 87–109, jan. 1994.